

JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA

***Eucalyptus* spp. NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE
CIMENTO-MADEIRA**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA

2000



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL

PARECER DE DEFESA DE TESE n.º 101

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de **DOUTORADO**, apresentada pelo candidato **JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA**, sob o título **"EUCALYPTUS SPP. NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA"**. para obtenção do grau de **Doutor** em Ciências Florestais, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Tese.

Curitiba, 24 de Novembro de 2000.

Pesq. Ph.D. Divino Eterno Teixeira
Primeiro Examinador
IBAMA

Prof. Dr. Edvã Oliveira Brito
Segundo Examinador
UFRRJ

Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
Terceiro Examinador
UFPR

Prof. Dr. Sidon Keinert Júnior
Quarto Examinador
UFPR

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Orientador e Presidente da Banca
UFPR



Ao meu irmão e minhas irmãs,

amigos e parentes,

Ofereço.

Ao meu pai José Euzébio Latorraca (†, 29-06-73), pelo

seu exemplo, à minha mãe Maria da Conceição F.

Latorraca, pela sua dedicação e incentivo e à

minha esposa Patricia Regina S. Latorraca

e filhas Priscyla S. Latorraca, Simone

Sodré Latorraca, pela compreensão

e companheirismo,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

Ao Professor Dr. Setsuo Iwakiri que, na condição de orientador colaborou sob todos os aspectos para a realização deste trabalho, demonstrando interesse e amizade na tarefa de orientação.

Aos professores Dr. Sidon Keinert Junior e Dr. Carlos Roberto Sanquetta, pela especial colaboração prestada no comitê de orientação.

Ao Prof. Dr. Umberto Klock pela colaboração referente às análises químicas da madeira.

Ao Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pelo auxílio na realização dos ensaios físicos e mecânicos dos painéis, bem como, pelas inferências sugeridas sobre análises estatísticas.

Ao Pesquisador do IBAMA Ph.D. Divino E. Teixeira pela colaboração e auxílio técnico para desenvolvimento desta tese.

Ao Prof. Dr. Eli Nunes Marques, que na condição de Coordenador do Curso de Pós-graduação dispensou todo seu apoio quando assumi as atividades de Prof. na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

À Empresa Holdercim, através do Eng. Civil Luiz Otávio Maia Cruz, pela estimada colaboração no sentido de doar cimento para utilização nesta tese, bem como, ceder o laboratório de ensaios.

Ao Laboratorista Régis Moura da Rocha e ao Auxiliar de Laboratório Fábio Aurélio Augustin da Empresa Holdercim pelo apoio e auxílio na execução dos ensaios de compressão axial de corpos de prova cilíndricos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, através do Departamento de Produtos Florestais, pela especial colaboração.

Ao Herbário da UFPR, através do Prof. Carlos Veloso Roderjan que realizou a identificação das espécies.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação, que sempre atendeu prontamente as indispensáveis solicitações, tornando possível um melhor andamento das atividades.

Aos funcionários Ricardo Klitzke, Ademir Cavalli, Gilnei Machado, Vitor Herrera e Antônio Perin, o reconhecimento de suas atividades, que foram de fundamental importância para a realização deste estudo.

Em especial à minha mãe Maria da Conceição F. Latorraca, a quem dedico especial gratidão. Pela amizade, companhia, dedicação e paciência agradeço à minha esposa Patrícia Sodré Latorraca e às minhas filhas Priscyla S. Latorraca e Simone S. Latorraca.

Ao amigo Zenóbio Abel G. P. Gama e Silva, pelo apoio em termos de infraestrutura domiciliar.

Pelo privilégio da companhia dos amigos do curso, Elias T. Severo, Nabor da Silveira Pio, Geraldo Bortoletto, Antônio Carlos Paixão, Dimas Agostinho, Ulisses Cunha, Cláudio Del Menezzi, Alexandre Brasil, Márcio Pereira da Rocha, Newton, Carlos Eduardo Camargo, Lourival e demais colegas e professores que prestaram a sua importante colaboração de maneira direta ou indireta.

BIOGRAFIA

JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA, filho de José E. Latorraca e de Maria da Conceição Figueiredo Latorraca, nasceu em Cuiabá, Estado de Mato Grosso, em 21 de janeiro de 1962.

Realizou os estudos de primeiro grau na Escola Modelo Barão de Melgaço e Colégio São Gonçalo, ambos em Cuiabá-MT. Iniciou o segundo grau também no Colégio São Gonçalo, sendo transferido para o Colégio Bardal em Curitiba-PR, concluindo-o em 1979.

Em março de 1981 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, onde graduou-se em janeiro de 1985 com o título de Engenheiro Florestal.

Exerceu a função de Engenheiro Florestal no Laboratório de Tecnologia da Madeira - LTM do Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso - INDEA/MT, durante o período de abril/85 a outubro/95.

Em maio de 1993, ingressou no curso de Especialização em Manejo de Florestas Tropicais da Universidade Federal de Mato Grosso, concluindo-o em fevereiro de 1995.

Iniciou em março de 1994, na Universidade Federal do Paraná, o curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, nível Mestrado, na área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, concluindo-o em fevereiro de 1996.

Em março de 1996, iniciou na Universidade Federal do Paraná, o curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, nível de doutorado, na área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Em outubro de 1996 foi aprovado no concurso público para professor assistente, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Iniciou suas atividade como professor na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em 22 de janeiro de 1997, onde na atualidade pertence ao quadro de professores do Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	4
2 REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1 MATÉRIA PRIMA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA	6
2.1.1 Cimento	6
2.1.2 Madeira	13
2.1.2.1 Química da madeira	13
2.1.2.2 Efeito da madeira sobre a pega e endurecimento do cimento	18
2.1.2.3 Pesquisas com espécies do gênero <i>Eucalyptus</i>	26
2.1.3 Água	28
2.1.4 Aditivos	32
2.2 INTERAÇÃO CIMENTO-MADEIRA	36
2.2.1 Avaliação da aptidão da madeira	38
2.3 CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA: Processo e aplicações	42
3 MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1 MATÉRIA-PRIMA	47
3.1.1 Madeira	47
3.1.2 Aglomerante	50
3.1.3 Água	51
3.1.4 Aditivos químicos	52
3.2 ANÁLISES FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA	52
3.2.1 Massa específica básica	52
3.2.2 Análises químicas	52
3.3 TERMOMETRIA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	53
3.3.1 Estudo do tipo de cimento	58

3.3.2 Estudo da granulometria de partículas	60
3.3.3 Estudo dos aditivos químicos	62
3.3.4 Estudo da aptidão das espécies	65
3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS	66
3.4.1 Delineamento experimental	66
3.4.1.1 Primeira fase	66
3.4.1.2 Segunda fase	71
3.4.2 Manufatura dos painéis	73
3.4.3 Parâmetros dos painéis e da prensagem	74
3.4.4 Propriedades dos painéis	76
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA	78
4.2 ANÁLISES QUÍMICAS	78
4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TERMOMETRIA E COMPRESSÃO	
AXIAL	79
4.3.1 Estudo do tipo de cimento	79
4.3.2 Efeito da granulometria de partículas	83
4.3.3 Efeito dos aditivos	92
4.3.4 Efeito da espécie	103
4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PROPRIEDADES FÍSICAS E	
MECÂNICAS DOS PAINÉIS	108
4.4.1 Efeito da granulometria de partículas, aditivos e espécies	108
4.4.2 Efeito da cura a vapor	126
5 CONCLUSÕES	132
RECOMENDAÇÕES	137
ANEXOS	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185

LISTA DE TABELAS

1. NOMENCLATURA DO CIMENTO PORTLAND.....	8
2. MAIORES COMPONENTES DO CLÍNQUER, SEUS PERCENTUAIS E SUAS PROPRIEDADES.....	9
3. RELAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	47
4. COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS PESQUISADAS	60
5. DELINEAMENTO ESTATÍSTICO EMPREGADO NO ESTUDO DA ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA	65
6. DELINEAMENTO PARA O ESTUDO DO EFEITO DE TRATAMENTOS DE CURA SOBRE AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA.....	71
7. VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE BÁSICA POR ESPÉCIE	78
8. RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS.....	79
9. EFEITO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS (GP) SOBRE A TEMPERATURA E TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA	84
10. EFEITO DOS ADITIVOS QUÍMICOS SOBRE A TEMPERATURA E TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA.....	94
11. EFEITO DA VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 SOBRE A TEMPERATURA, TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA	98
12. EFEITO DO USO DA MICROSSÍLICA SOBRE A TEMPERATURA, TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA.....	101
13. EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE A TEMPERATURA, TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA.....	104
14. EFEITO DA ESPÉCIE COMBINADA COM O ADITIVO QUÍMICO CaCl_2 (4%) SOBRE A TEMPERATURA, TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA	107

15. MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DAS CHAPAS PARA CADA TRATAMENTO REALIZADO DENTRO DO ESTUDO DE GRANULOMETRIA	110
16. EFEITO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DAS ESPÉCIES <i>E. citriodora</i> E <i>E. urophylla</i> SOBRE O MOE E O MOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.	111
17. EFEITO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DAS ESPÉCIES <i>E. citriodora</i> E <i>E. urophylla</i> SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA E A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA	112
18. EFEITO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DAS ESPÉCIES <i>E. citriodora</i> E <i>E. urophylla</i> SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....	114
19. EFEITO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DAS ESPÉCIES <i>E. citriodora</i> E <i>E. urophylla</i> SOBRE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....	115
20. MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DAS CHAPAS PARA CADA TRATAMENTO REALIZADO DENTRO DO ESTUDO DE ADITIVOS.....	116
21. EFEITO DE ADITIVOS SOBRE O MOE E O MOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE <i>E. urophylla</i>	117
22. EFEITO DE ADITIVOS SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA E A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE <i>E. urophylla</i>	118
23. EFEITO DE ADITIVOS SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE <i>E. urophylla</i>	119
24. EFEITO DE ADITIVOS SOBRE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE <i>E. urophylla</i>	120
25. MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DAS CHAPAS PARA CADA TRATAMENTO REALIZADO DENTRO DO ESTUDO DE ESPÉCIE	121
26. EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE O MOE E O MOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....	122
27. EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA E A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....	123
28. EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA	124

29. EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....	125
30. MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DAS CHAPAS PARA CADA TRATAMENTO REALIZADO DENTRO DO ESTUDO DE CURA À VAPOR	127
31. EFEITO DA CURA SOBRE O MOE E O MOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....	128
32. EFEITO DA CURA SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA E A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....	130

LISTA DE FIGURAS

1. REPRESENTAÇÃO DA CURVA TÍPICA DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO	10
2. TAXA DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO E DA MISTURA CIMENTO-MADEIRA NOS PRIMEIROS ESTÁGIOS (A) E NOS ESTÁGIOS DE SOLIDIFICAÇÃO E ENDURECIMENTO (B).....	12
3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.....	14
4. CLASSIFICAÇÃO DOS EXTRATIVOS	15
5. EFEITO DE SUBSTÂNCIAS DA MADEIRA SOBRE A CURVA DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO.....	23
6. EFEITO DO AUMENTO DO NÍVEL DE EXTRATIVOS SOBRE A CURVA DE HIDRATAÇÃO	24
7. GRÁFICO PARA SE DETERMINAR, DE MANEIRA APROXIMADA, O FATOR ÁGUA:CIMENTO, LEVANDO-SE EM CONTA O TIPO DE CIMENTO PORTLAND UTILIZADO.....	30
8. COMPOSIÇÃO DE PASTA DE CIMENTO EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE HIDRATAÇÃO	31
9. DESENHO ESQUEMÁTICO APRESENTANDO A ESTRUTURA DA MATRIZ DE CIMENTO COM A PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE SILMIX (SÍLICA FUME)	36
10. REPRESENTAÇÃO DA ÁREA SOB A CURVA DE HIDRATAÇÃO PARA A MISTURA CIMENTO E ÁGUA E MADEIRA, CIMENTO E ÁGUA.....	41
11. LAY-OUT DE UM PLANTA DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA, INCORPORANDO UM AUTOCLAVE PARA CURA DAS CHAPAS ..	43
12. POSSIBILIDADES DE USO PARA OS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA	46
13. DESENHO ESQUEMÁTICO REPRESENTANDO O CORTE DAS TORAS	48
14. SEQUÊNCIA DE MALHAS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS.....	50
15. ESQUEMA DEMONSTRANDO O SISTEMA UTILIZADO PARA SE COLOCAR AS AMOSTRAS DA MISTURA CIMENTO-MADEIRA-ÁGUA PARA MEDIÇÃO DAS TEMPERATURAS E TEMPO DE HIDRATAÇÃO.....	55
16. DELINEAMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TIPO DE CIMENTO	59
17. ESQUEMA GERAL DO ESTUDO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS	62

18. ESQUEMA GERAL DO ESTUDO DOS ADITIVOS QUÍMICOS ACELERADORES.....	63
19. DELINEAMENTO PARA O ESTUDO DO EFEITO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS SOBRE AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE CIMENTO- MADEIRA.....	68
20. DELINEAMENTO PARA O ESTUDO DO EFEITO DOS ADITIVOS QUÍMICOS E MINERAL SOBRE AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE CIMENTO- MADEIRA.....	69
21. DELINEAMENTO PARA O ESTUDO DO EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA.....	70
22. TANQUE PARA CURA A VAPOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.....	72
23. DETALHE DO ESQUEMA DO GRAMPEAMENTO DURANTE A PRENSAGEM DOS PAINÉIS.....	75
24. ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA NOS PAINÉIS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES (em mm).	77
25. TENDÊNCIAS DE TEMPERATURA (1) E TEMPO (2) DE HIDRATAÇÃO DOS QUATRO TIPOS DE CIMENTO.	81
26. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DOS QUATRO TIPOS DE CIMENTO HIDRATADOS COM 25% DE ÁGUA.	82
27. EFEITO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS (GP) SOBRE O ÍNDICE DE INIBIÇÃO NAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO.....	88
28. EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM CADA UMA DAS CINCO GRANULOMETRIAS DE PARTÍCULAS OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO.....	91
29. EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO MAIS A ADIÇÃO DE QUATRO ADITIVOS QUÍMICOS.....	96
30. EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO, MAIS A ADIÇÃO DE TRÊS PERCENTUAIS DO ADITIVO QUÍMICO CaCl_2	99
31. EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO MAIS A ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA (10%) COMBINADA OU NÃO COM CaCl_2 (4%)	102

32. EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE O ÍNDICE DE INIBIÇÃO.....	105
33. EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO	106
34. EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO MAIS A ADIÇÃO DE CaCl_2 (4%).....	108

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a realização de estudos sobre as variáveis do processo de manufatura de painéis de cimento-madeira. Quatro tipos de cimento portland, quatro espécies de *Eucalyptus*, cinco granulometrias de partículas, cinco aditivos aceleradores de pega e três percentuais de aditivos, foram pesquisados. Análises foram realizadas com propósito de se averiguar o efeito dessas variáveis sobre a evolução da curva de hidratação do compósito cimento-madeira, a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (CPC) e as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Além desses estudos, pesquisou-se também, o efeito da cura à vapor, sobre as propriedades mecânicas das chapas. As espécies *E. pellita*, *E. robusta*, *E. urophylla* e *E. citriodora* foram coletadas de um reflorestamento localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no município de Seropédica-RJ. Para seleção do melhor tipo de cimento, da espécie mais compatível, da granulometria mais adequada, do aditivo e do seu percentual mais recomendado, a pesquisa desenvolveu-se em duas fases. Inicialmente, foi avaliada a influência de cada variável sobre a temperatura, o tempo de hidratação do compósito e a resistência à compressão axial de CPC. Índices de inibição da madeira, também foram determinados para classificar, quanto a compatibilidade, a espécie e a granulometria de partículas. Após avaliação desses estudos, procedeu-se a manufatura dos painéis cumprindo um delineamento experimental transcrito da fase inicial. Assim, o efeito produzido pelas variáveis investigadas no processo, foi, neste instante, observado nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis. O principal propósito disto foi, além de selecionar as melhores variáveis, ratificar se as tendências dos resultados encontrados, em ambas as fases, se sobrepunham. O estudo sobre cura à vapor dos painéis, foi realizado com chapas produzidas já com as variáveis consideradas mais promissoras, em função dos resultados alcançados nas análises anteriores. Os painéis foram submetidos à três períodos de cura à vapor numa temperatura de 60 °C. Foi avaliada a resistência mecânica dos painéis para os períodos de maturação de 7, 14 e 28 dias, onde se identificou se tais períodos de exposição provocaram resistências equivalentes entre os três períodos de maturação explorados. Diante dos resultados alcançados pôde-se concluir que: o cimento portland ARI (Alta resistência inicial) é o mais adequado ao uso em chapas de cimento-madeira; a granulometria de partículas com tamanho intermediário foi a mais adequada ao uso porque, em praticamente todas as propriedades, apresentou resultados satisfatórios, além de contemplar a possibilidade do uso de granulometrias combinadas; o percentual de 4% do aditivo químico CaCl₂, foi considerado o mais adequado e recomenda-se a sua utilização; com exceção da espécie *E. citriodora*, todas as outras três apresentaram boas possibilidades para uso em chapas de cimento-madeira; a variação do tempo de exposição dos painéis numa câmara de vapor, proporcionou efeitos satisfatórios nas propriedades mecânicas, principalmente, módulo de elasticidade, compressão paralela dos painéis, mas não apresentou efeito sobre o módulo de ruptura e ligação interna.

ABSTRACT

This work aimed to study the variables of four *Eucalyptus* species in the hydration of cement and the properties of wood-cement bonded board (WCB). The following variables were evaluated: four types of cement, four species of *Eucalyptus*, five wood particle granulometry, five additives and three percentages of these additives. Analyses were done with the purpose of investigating the effects of these variables under the hydration curve of the wood-cement mixture, the compression resistance of cylindrical samples and the physical and mechanical properties of the boards manufactured. The effect of steam curing of the properties of WCB was investigated as well. The species *E. pellita*, *E. robusta*, *E. urophylla* and *E. citriodora* were collected at a reforestation site located at Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro at Seropédica County-RJ. The research was conducted in two phases to select the best parameters of type of cement, species compatibility with cement, wood particle granulometry and type/percentage of additives. In the first phase, it was evaluated the influence of each parameter on the temperature, hydration evaluation and resistance to axial compression of the cylindrical samples. The inhibitory index of the wood-cement mixture was determined based on the compatibility of the each species and particle granulometry with the cement. The next phase consisted in evaluating the application of the parameters selected in the manufacture and properties of the WCB according to the outline developed in the initial phase of the study. The trend found in the first phase of study was confirmed by the physical and mechanical properties of the WCB's. The main purpose was to select the best variables and to find out, whether these variables would show the same trend in both phases of the research. The first phase of the research supplied the best WCB variables to the steam curing panels study. The boards were submitted to three periods (7, 14 and 28 days) of steam cure at 60 °C and the properties evaluated afterwards. Based on the results obtained, it can be concluded that: Portland cement ARI (high initial resistance) is the most suitable to be used with wood in WCB; medium size particle granulometry provided the best WCB properties with the possibility of combining more than one granulometry; Calcium Chloride (CaCl_2) at 4% ratio is the ideal additive to be used in the boards; *E. citriodora* is the lesser suitable species among the ones studied; steam cure of the panels gave the boards satisfactory effects in terms of properties.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos, segundo WATAI (1996), a indústria da construção civil tem passado por modificações em razão da introdução dos painéis de madeira reconstituída. Destes, podem-se destacar os painéis de partículas orientadas (OSB) e os painéis de “*flakes*” e “*wafer*” (*waferboard*). Não menos importantes são os painéis de cimento-madeira que possuem uma longa história de aplicação e aceitação no setor de construção civil, principalmente na Europa e Ásia, com uma produção de 2,4 milhões de m³ em 1993.

De acordo com MOSLEMI (1998), a concepção de misturar adesivo inorgânico com madeira ou biomassa proveniente da agricultura é muito antigo, data da pré-história, quando se misturavam palha de arroz ou trigo com barro para produzir um compósito chamado de bloco ou tijolo de barro, onde, em muitos países menos desenvolvidos, ainda são utilizados. Esses compósitos, segundo ZUCCO (1999), eram empregados pelos Hebreus, que recorriam às fibras vegetais para reduzir a presença de fissuras em tijolos queimados ao sol, além de torná-los mais leves.

Essa mesma concepção tem sido aplicada em tempos atuais, utilizando-se fibras ou partículas de madeira combinada com cimento Portland e outros materiais inorgânicos tais como gesso e magnesita (MOSLEMI, 1989).

Os painéis de cimento-madeira, tiveram a sua produção no início do século. Inicialmente painéis de magnesita eram geralmente de baixa qualidade em função de serem extremamente sensíveis à umidade. As chapas produzidas com cimento e partículas excelsior, desenvolvidas em 1927, tinham uma melhor resistência à água.

O emprego da pressão para produção desses painéis não aconteceu antes da metade dos anos 30. Com o desenvolvimento da tecnologia do processo de produção de aglomerados com resina sintética, muito disso foi considerado como sendo também aplicável à produção de painéis de cimento-madeira.

A tecnologia de produção dos painéis de cimento-madeira é muito similar ao processo de produção de aglomerados com resina sintética. Esse tipo de painel (cimento-madeira) apresenta uma composição relativamente simples. Ele é composto basicamente de partículas de madeira, cimento (Portland) e água, numa proporção de 1:3:1,5 (com base no peso). Aditivos químicos têm sido empregados com o propósito de reduzir o tempo de endurecimento do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência.

De acordo com HACHMI e CAMPBELL (1989), o compósito cimento-madeira é o único material estrutural que é altamente resistente ao fogo, à decomposição e aos insetos e, segundo DINWOODIE (1978), é muito estável. Além dessas características, incluem-se a excelente propriedade de isolante térmico e acústico e ainda a fácil trabalhabilidade. LEE (1984), atribuiu essa alta estabilidade a dois principais fatores: primeiro que esse compósito contém muitos espaços vazios que permitem um inchamento interno e, segundo, que o revestimento do cimento ao redor da partícula restringe o inchamento da madeira.

O maior problema tecnológico, segundo HACHMI e CAMPBELL (1989), é que a resistência à adesão depende da espécie de madeira que está sendo utilizada. As espécies mais utilizadas na manufatura desses painéis são as coníferas, exatamente por apresentarem propriedades, principalmente químicas, que as torna mais

compatíveis para serem combinadas com o cimento, não causando inibição da pega e endurecimento do mesmo.

O plantio de eucalipto no Brasil tem demonstrado ser uns dos mais produtivos. Até o momento, segundo PONCE (1995), esta vantagem tem sido aproveitada pelas indústrias de papel e celulose, indústrias siderúrgicas e de painéis colados com resinas sintéticas. O emprego das espécies desse gênero, na manufatura de painéis de cimento-madeira, ainda é bastante inexpressivo, não somente na produção em escala industrial, mas como também em pesquisas científicas. Para tanto, um motivo é sempre mencionado, ou seja, as espécies de folhosas são menos compatíveis que as de coníferas.

Vários pesquisadores (WEATHERWAX e TARKOW, 1964; DAVIS, 1966; BIBLIS e LO, 1968; SINGH, 1975; MOSLEMI *et al.*, 1983; SHUKLA *et al.*, 1984; TEIXEIRA e GUIMARÃES, 1989; SOUZA, 1994; LATORRACA *et al.*, 1999) têm direcionado suas pesquisas de encontro aos problemas que mais interferem na obtenção de painéis de cimento-madeira de boa qualidade. Dentre essas pesquisas, duas linhas se destacam, quais sejam, o estudo das interações físicas e químicas entre a madeira e o cimento e, a redução do tempo de cura dos painéis.

A incompatibilidade de várias espécies com o cimento, pode de certa forma, restringir o emprego desses painéis. Isto ocorre devido à presença de algumas substâncias químicas na madeira, principalmente os extrativos, que retardam a pega ou hidratação do cimento. Segundo SOUZA (1992), Isso pode tornar a produção de chapas de cimento-madeira totalmente inviável, aumentando muito o tempo de cura, afetando os custos de produção e prejudicando as propriedades finais da chapa.

Tratamentos têm sido empregados melhorando significativamente a qualidade do produto acabado. Dentre eles, incluem-se basicamente a extração das substâncias químicas inibidoras, através da imersão das partículas em água fria ou quente e adição de produtos químicos aceleradores da pega do cimento.

Recentemente, tem sido desenvolvida tecnologia com o objetivo de reduzir o tempo de prensagem das chapas. A injeção de CO₂ (dióxido de carbono) durante a prensagem e a modificação do cimento são as duas mais correntes. Nesses dois processos, o tempo de endurecimento do cimento é muito rápido, em aproximadamente cinco minutos, enquanto que no processo normal de cura das chapas, isso ocorre, em geral, durante semanas. Assim, a consolidação dos painéis é muito mais rápida (SIMATUPANG *et al.*, 1991; SOUZA, 1994; MOSLEMI, 1998).

Normalmente muitas indústrias utilizam cura ao ar livre para consolidar os painéis. Outras acondicionam em câmaras por oito dias. No Japão, pesquisas indicam que com a adição de autoclaves no processo e modificações na formulação dos componentes, a fase de acondicionamento pode ser eliminada.

Na medida em que as pesquisas avançam nesse sentido e o aperfeiçoamento dos processos desenvolvidos sejam completados, os painéis de cimento-madeira poderão ser consolidados de maneira similar ao processo de produção de aglomerados convencionais.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa foram:

1. Selecionar o tipo de cimento Portland mais adequado para utilização em chapas de cimento-madeira;
2. Selecionar a granulometria de partícula mais adequada para utilização em chapas de cimento-madeira;
3. Selecionar o aditivo mais adequado para utilização em chapas de cimento-madeira;
4. Selecionar a concentração de aditivo que apresenta melhor resultado;
5. Avaliar o efeito das espécies e indicar aquelas com maior e menor potencial ao uso em chapas de cimento-madeira;
6. Avaliar o uso da técnica de termometria e resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos, como parâmetro para seleção de variáveis de processo de produção e seu reflexo sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de cimento-madeira;
7. Avaliar o efeito do tratamento de cura a vapor dos painéis.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MATÉRIA PRIMA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

2.1.1 CIMENTO

O cimento por definição é um material aglomerante hidráulico que se apresenta na forma de um pó muito fino (VALENZUELA, 1989). Hidráulico porque ao contato com a água provoca uma reação química que libera calor (reação exotérmica) e forma uma pasta capaz de endurecer por secagem natural (NÃÃS, 1991).

De acordo com NÃÃS (1991) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (1997, doravante citada como ABCP), o cimento Portland foi uma criação do Inglês Joseph Aspdin por volta 1824. Esse nome foi dado pelo fato da sua cor cinzenta ser semelhante a de uma pedra (oriunda da Ilha de Portland, localizada ao sul da Inglaterra) usada comumente para construção nessa época. Na verdade, segundo NÃÃS (1991), esse produto nada mais era que uma cal hidráulica artificial com composição e temperatura de cozimento diferentes do cimento Portland atual. Somente em 1845 que Issac Johnson iniciou a produção do que é hoje o produto mais difundido na construção, o cimento Portland.

Segundo a ABCP (1997), o cimento Portland é composto de clínquer e adições. O clínquer é o principal componente e tem como matérias-primas o calcário e a argila. O clínquer, em pó, é que tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química na presença da água que, inicialmente, torna-se pastoso e, em

seguida, endurece, adquirindo resistência e durabilidade. As adições são as outras matérias-primas que misturadas ao clínquer permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento. Essas outras matérias-primas, de acordo com as informações de KATTAR e ALMEIDA (1997), são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

O gesso tem a função básica de controlar o tempo de pega, isto é, o início do endurecimento do clínquer quando misturado com a água. Caso o gesso não seja adicionado ao clínquer, o cimento endureceria quase que instantaneamente quando entrasse em contato com a água. Assim, a adição de gesso está presente em todos os tipos de cimento. As escórias são obtidas durante a produção de ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas e tem a forma de grãos de areia. Elas apresentam propriedades de ligante hidráulico muito resistente melhorando algumas propriedades, como, maior durabilidade e maior resistência final. Materiais pozolânicos são rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza. A exemplo das escórias, os materiais pozolânicos, quando pulverizados em partículas muito finas, também apresentam a propriedade de um ligante hidráulico, porém de forma distinta. A reação só ocorrerá se, além da água, eles forem colocados na presença de um outro material. O clínquer é justamente um desses materiais, pois no processo de hidratação libera hidróxido de cálcio (cal) que reage com a pozolana. A sílica ativa é um tipo de material pozolânico obtido nos filtros do processo de fabricação do silício metálico. Trata-se de um pó finíssimo que sai das chaminés das fundições de ferro-silício. A sua adição resulta em características de boa resistência a ataques químicos, maior aderência, aumento na resistência mecânica, etc. Materiais carbonáticos são minerais moídos,

tais como o próprio calcário. Sua adição melhora a trabalhabilidade porque os grãos ou partículas desses minerais tem dimensões adequadas para se alojar entre os grãos ou partículas dos demais componentes do cimento (ABCP, 1997; KATTAR e ALMEIDA, 1997).

Existem no Brasil, de acordo com a ABCP (1997), vários tipos de cimento oferecidos no mercado (Tabela 1), uns mais empregados e outros consumidos em menor escala e com características especiais.

TABELA 1 - NOMENCLATURA DO CIMENTO PORTLAND

NOME TÉCNICO		SIGLA	CLASSE
Cimento Portland Comum (NBR 5732)	Cimento Portland Comum	CP I	25, 32, 40
	Cimento Portland Comum com adição	CPI-S	25, 32, 40
Cimento Portland Composto (NBR 11578)	Cimento Portland Composto com escória	CP II-E	25, 32, 40
	Cimento Portland Composto com pozolana	CP II-Z	25, 32, 40
	Cimento Portland Composto com fíler	CP II-F	25, 32, 40
Cimento Portland de Alto-forno (NBR 5735)		CP III	25, 32, 40
Cimento Portland Pozolânico (NBR 5736)		CP IV	25, 32
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (NBR 5733)		CPV-ARI	-
Cimento Portland Resistentes aos Sulfatos (NBR 5737)		-	25, 32, 40
Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (NBR 13116)		-	25, 32, 40
Cimento Portland Branco (NBR 12989)	Cimento Portland Branco Estrutural	CPB	25, 32, 40
	Cimento Portland Branco Não Estrutural	CPB	-
Cimento para Poços Petrolíferos (NBR 9831)		CPP	G

Fonte: ABCP (1997)

Segundo HACHMI e CAMPBELL (1989), o cimento Portland é constituído por uma complexa mistura de materiais inorgânicos que variam de um tipo para o outro. Os principais compostos do clínquer e suas propriedades específicas são observados na tabela 2.

Segundo BATTAGIN e ESPER (1988), durante as reações químicas, quando o cimento é hidratado, calor é liberado. A quantidade de calor de hidratação,

depende, entre outros fatores, do tipo do cimento, da sua finura, da temperatura, do tempo de hidratação, etc. Segundo esses autores, geralmente, grande parte do calor de hidratação é atribuída aos componentes C_3S e C_3A , uma vez que são componentes expressivos do cimento que apresentam maior calor de hidratação individualmente. Assim, cimento com altos teores de C_3S e C_3A potencialmente apresentarão alto calor de hidratação.

TABELA 2 - MAIORES COMPONENTES DO CLÍNQUER, SEUS PERCENTUAIS E SUAS PROPRIEDADES

NOME	FÓRMULA	ABREVIATURA	% NO CLÍNQUER	PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS
Silicato tricálcico (Alita)	$3CaO.SiO_2$	C_3S	25 – 60	Endurecimento rápido Alto calor de hidratação Alta resistência inicial
Silicato bicálcico (Belita)	$2CaO.SiO_2$	C_2S	15 – 20	Endurecimento lento Baixo calor de hidratação Baixa resistência inicial
Aluminato tricálcico (Aluminato)	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	4 – 12	Pega muito rápida Alto calor de hidratação Baixa resistência inicial
Ferro aluminato Tetracálcico (Ferrita)	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	8 – 12	Alta retração Endurecimento lento Não contribui para resistência Cor escura
Cal livre	CaO	C	5 – 8	Aceitável em pequenas quantidades. Maiores quantidades causam aumento de volume e fissura

Fonte: BATTAGIN e ESPER (1988)

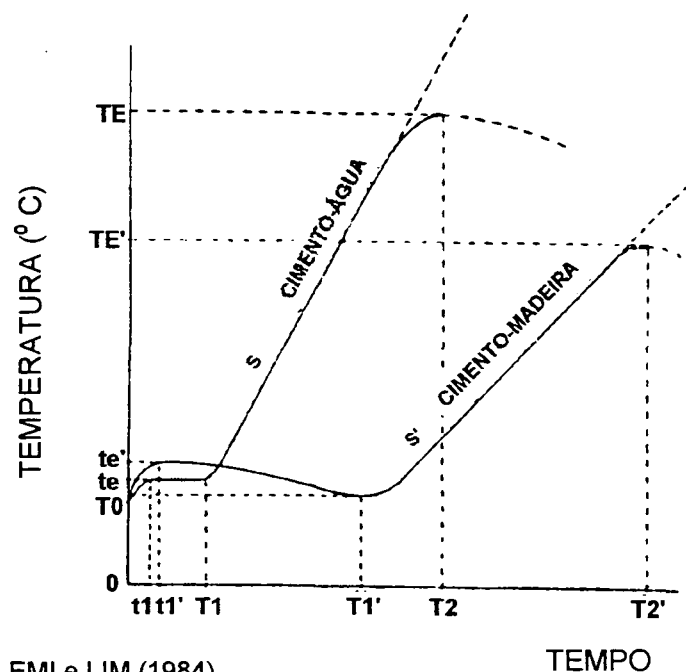
Segundo a ABCP (1997) e BATTAGIN e ESPER (1988), o uso de cimento com baixo calor de hidratação constitui medida preventiva para evitar fissuras que são geradas quando ocorre alta liberação de calor, como é o caso de construção de barragens. Escória, como já mencionado, é adicionada ao cimento porque o desenvolvimento do calor de hidratação é mais lento em relação ao C_3S e ao C_3A .

Portanto a adição desses materiais causa um decréscimo do calor de hidratação por efeito similar a uma diluição. Apesar disto, pode ocorrer uma similaridade de calor de hidratação entre cimento de alto-forno e comum. Isto ocorre devido ao fato de que o cimento com adição apresenta uma maior finura, característica que promove uma aceleração das reações exotérmicas de hidratação.

Segundo MOSLEMI e LIM (1984), quando se examina uma curva de comportamento típico de uma reação de cimento-madeira-água e também somente cimento-água, nota-se que esta, pode ser dividida em três fases distintas de tempo e temperatura, conforme Figura 1:

1. Aumento inicial de temperatura \Rightarrow (0 para t_1) e (0 para t_1');
2. Período de dormência \Rightarrow (t_1 para T_1) e (t_1' para T_1');
3. Endurecimento do cimento exibindo rápida elevação de temperatura \Rightarrow (T_1 para T_2) e (T_1' para T_2').

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DA CURVA TÍPICA DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO



Fonte: MOSLEMI e LIM (1984)

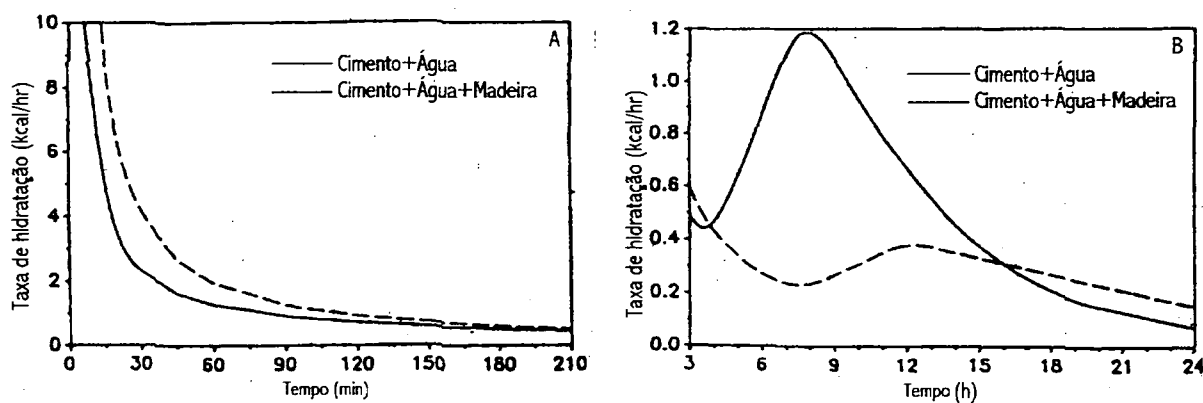
De acordo com HACHMI e CAMPBELL (1989), nos primeiros 15 a 30 minutos ocorre uma rápida hidratação do cimento seguido por um período estático da temperatura, na qual permanece por 2 a 4 horas. Então a taxa de calor evolui rapidamente por várias horas e diminui dentro de 24 horas (Figura 2).

O endurecimento da pasta de cimento, segundo BRUNAUER e COPELAND (S/D), não é o começo nem o fim do processo. O cimento começa a reagir imediatamente após contato com a água e, a presença da reação das substâncias, provoca nele mesmo um imediato aumento da viscosidade da pasta. Esse aumento brusco de viscosidade e elevação da temperatura, segundo NÃÃS (1991), demarca o início de pega. Assim, observando a figura 1, nota-se que o início de pega ocorre ao final da fase dois descrita por MOSLEMI e LIM (1984). Ao final da pega, situação em que a pasta cessa de ser deformável para pequenas cargas, o processo de endurecimento continua por meses e até certo ponto por anos (BRUNAUER e COPELAND, S/D). O conhecimento dos tempos de início e término de pega é importante, pois através deles se tem uma idéia do tempo disponível para trabalhar a pasta ou o compósito.

Durante os primeiros estágios da hidratação do cimento, segundo HACHMI e CAMPBELL (1989), o C_3S e o C_2S são hidratados para formar principalmente hidróxido de sódio (NaOH). Cerca de 25% em peso do cimento é convertido em NaOH. Estes, aumentam o pH da pasta de cimento para aproximadamente 12,5, produzindo uma pasta altamente alcalina, a qual pode inchar, dissolver e degradar a madeira. HACHMI e CAMPBELL (1989) citam que, segundo BOGUE e LERCH (1934), a resistência do cimento depende principalmente das taxas de C_3S e o C_2S . A adição de algum outro material à mistura cimento-água, tais como partículas de

madeira e aditivos químicos (orgânicos puro e substâncias inorgânicas) afetará a magnitude da reação da hidratação, o tempo para as fases e a resistência do cimento.

FIGURA 2 - TAXA DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO E DA MISTURA CIMENTO-MADEIRA NOS PRIMEIROS ESTÁGIOS (A) E NOS ESTÁGIOS DE SOLIDIFICAÇÃO E ENDURECIMENTO (B)



Fonte: HACHMI e CAMPBELL (1989)

O tempo de pega, é definido por BIBLIS e LO (1968), como sendo o tempo percorrido entre a mistura dos componentes e o tempo necessário para se obter a temperatura máxima de hidratação.

LARSON, citado por MUSOKOTWANE (1982), relata que para evitar danos devido a excessiva liberação de calor, a composição do cimento é usualmente alterada de tal forma que os constituintes produtores de calor estejam presentes em menor teor. O contrário seria desejado na produção de chapas cimento-madeira, onde a pega rápida ou aquisição rápida da resistência máxima é desejável. Por esta razão, cimentos produtores de alto calor são preferidos.

2.1.2 MADEIRA

2.1.2.1 Química da madeira

Segundo MARRA (1992), a madeira é quimicamente constituída por dois grandes componentes: holocelulose e lignina. Outros dois em menores quantidades, chamados de extrativos e cinzas são também considerados. A celulose que é constituída por três elementos, carbono, hidrogênio e oxigênio, contribui com a maior parte, representando cerca de 60 - 75 % do total dos componentes, e, está organizada dentro de cadeias de açúcares que facilitam o transporte no sistema vascular da árvore.

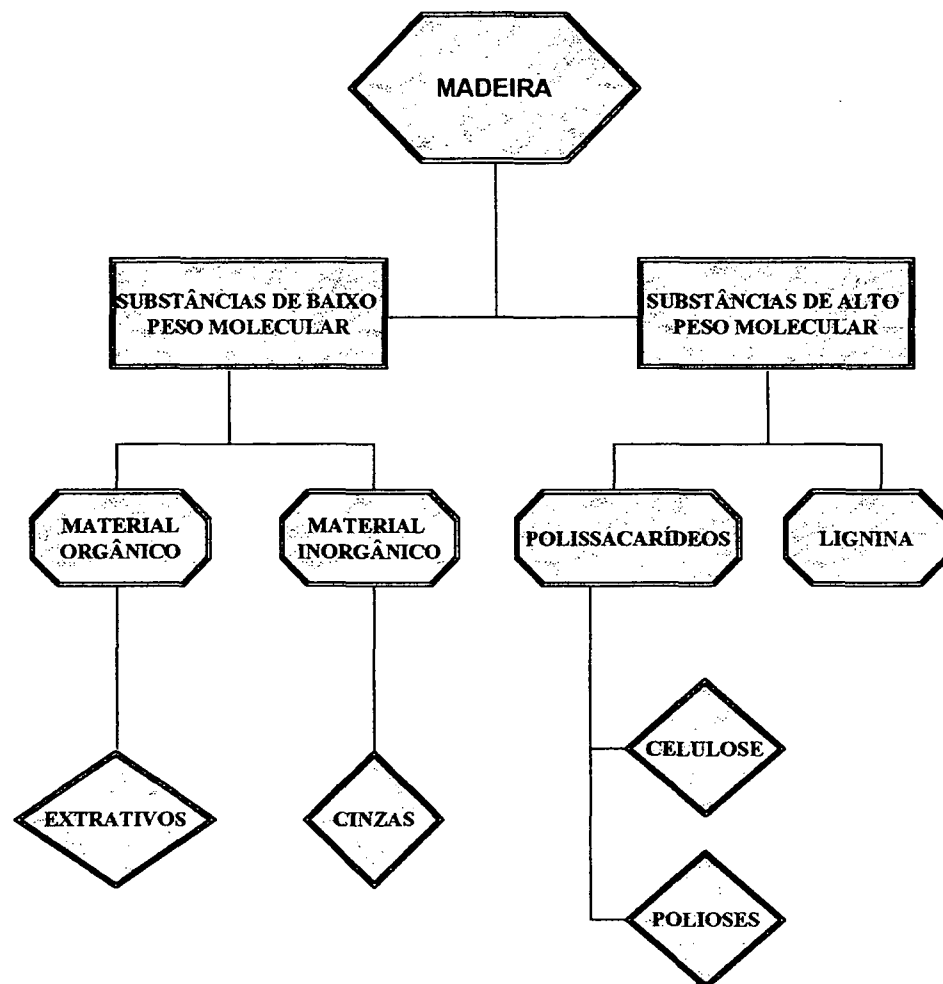
A lignina que também apresenta a mesma composição elementar da celulose, representa cerca de 20 - 30 %, porém seus três constituintes estão organizados em uma estrutura carbônica constituída por uma cadeia alifática e um anel benzênico. Os extrativos, aproximadamente 1 - 10 %, compreendem um grupo misto de polímeros complexos, que se encontram impregnados nas paredes e no lume das células, e por fim, as cinzas que representam os minerais extraídos do solo, aparecem com menos de 1 %. A figura 3 mostra a composição química da madeira segundo FENGEL e WEGENER (1984).

A quantidade de cada uma dessas substâncias varia, de acordo com HACHMI e CAMPBELL (1989), de espécie para espécie. Segundo eles, as polioses são polissacarídeos complexos que variam significativamente entre gimnospermae e angiospermae, correspondendo ao equivalente a 28 e 34 %, respectivamente. Os

extrativos são também uma mistura complexa de substâncias que incluem resinas, gorduras ácidas, terpenos e terpenóides, fenóis, taninos, açúcares simples e sais.

Segundo BROWNING (1975) e SJÖSTRÖM (1993), citados por LIMA (1996), os extrativos são constituídos por substâncias tais como, taninos, gomas, corantes, amidos, gorduras, resinas e fitosteróis, além de outros, que podem ser removidos com água fria ou quente, ou ainda com solventes orgânicos, tais como, etanol, tolueno, acetona ou diclorometano. Esses extrativos são responsáveis por determinadas características, como a cor, o desenho, o cheiro, a resistência natural ao ataque de organismos destruidores da madeira, ao gosto, etc.

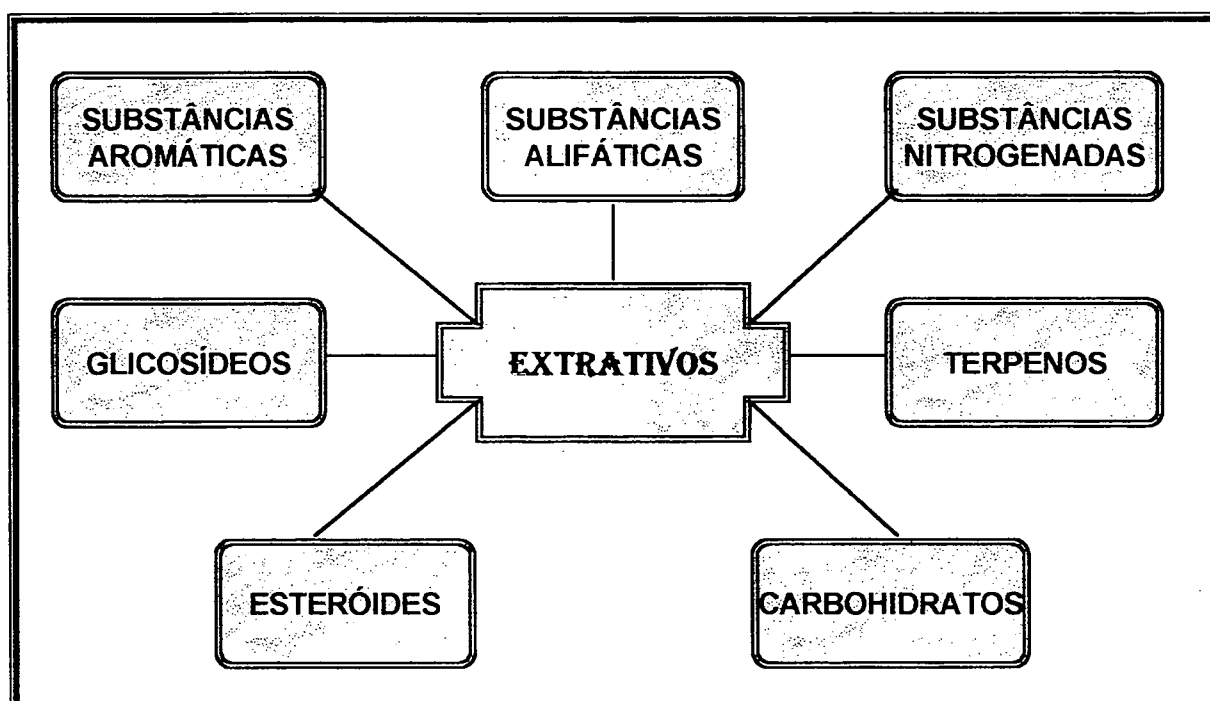
FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA



Fonte: FENGEL e WEGENER (1984)

Os extrativos, de acordo com cada autor, tem sido classificados em vários grupos, com base principalmente nas suas características estruturais, nas suas propriedades físicas, quanto a sua solubilidade e ainda de acordo com a família ou gênero botânico. Uma classificação com base nas suas características estruturais é apresentada na figura 4.

FIGURA 4 - CLASSIFICAÇÃO DOS EXTRATIVOS



Fonte: FENGEL e WEGENER (1984)

Os terpenos, de acordo com LOBO (1976), são compostos que têm uma relação estrutural e química com a molécula de isopreno. Segundo FENGEL e WEGENER (1984), os terpenos e seus derivados são grupos de substâncias comumente encontrados em plantas e animais. Eles relatam, que de acordo com CODELL (1974), mais de 4000 diferentes tipos de terpenos têm sido isolados e identificados. Segundo esses autores, oleoresinas e outras secreções de plantas contêm terpenos, e que essas substâncias pertencem a várias classes de terpenos.

De acordo com o número de unidades de isoprenos (cinco moléculas de carbono - 5C), os terpenos subdividem-se nas seguintes classes: monoterpenos (2 unidades de isopreno), sesquiterpenos (3 unidades de isopreno), diterpenos (4 unidades de isopreno), sesterterpenos (5 unidades de isopreno), triterpenos (6 unidades de isopreno).

Os extrativos de coníferas contêm todas as classes de terpenos, com exceção dos sesterterpenos, que é uma classe muito rara. Em folhosas estão mais presentes os terpenos com unidades de isopreno mais altas, principalmente os triterpenos encontrados no látex de espécies do gênero *Hevea*.

Dentre as substâncias alifáticas podem se destacar os ácidos graxos, álcoois alifáticos, ceras e graxas. Graxas são definidas como ésteres de ácidos carboxílicos tal como com glicerídeos, enquanto que as ceras são ésteres de ácidos de origem de álcoois de extensas cadeias carbônicas. Estas duas substâncias são extraídas da madeira com solventes orgânicos. Ácidos carboxílicos e álcoois, livres, também são encontrados em extrativos da madeira, contudo a maioria dos ácidos estão combinados.

Taninos, estilbenos, lignanas, flavonóides, e quinonas, compõem algumas das substâncias aromáticas (fenóis) encontradas na madeira. Os extrativos são freqüentemente classificados como substâncias de baixo peso molecular, no entanto, eles apresentam substâncias macromoleculares, como é o caso dos taninos (D'ALMEIDA, 1988 e PANSIN e DE ZEEUW, *apud* LIMA, 1996). Estes podem ser subdivididos em taninos hidrolizáveis e não hidrolizáveis ou condensáveis. Freqüentemente os taninos hidrolizáveis subdividem-se em galotaninos que produzem, após hidrólise, o ácido gálico, e elagitaninos que produzem após

hidrólise, o ácido elágico. Ácidos elágicos e seus derivados, e glicosídeos de ambos, são substâncias de taninos extraídos de espécies de *Eucalyptus*. Os galotaninos foram encontrados em cerne e alburno de *Quercus alba* e *Quercus rubra*.

Comparados aos taninos condensáveis, os taninos hidrolizáveis ocorrem menos freqüentemente em madeiras. No entanto, com exceção de espécies do gênero *Quercus*, *Castanea* e *Eucalyptus*, taninos hidrolizáveis tem sido encontrados em espécies do gênero *Terminalia*, *Phyllanthus*, e *Caesalpinia*, mas a maioria das espécies, especialmente as folhosas, contém taninos não hidrolizáveis.

As principais substâncias dos taninos não hidrolizáveis ou condensáveis são as catequinas (flavan-3-ols) e leucoantocianidinas (flavan-3,4-diols). Estas substâncias pertencem ao grupos dos flavonóides. Muitos destes estão presentes em extrativos de madeiras, e são chamados de não taninos fenólicos.

Os carboidratos são outras substâncias encontradas nos extrativos da madeira e, eles podem estar agrupados em diferentes grupos, dependendo da sua natureza estrutural, como por exemplo os monossacarídeos (glicose, manose, galactose, xilose, etc), dissacarídeos (sacarose), e os polissacarídeos (amilose - amido), sendo este último uma substância de alto peso molecular. DIETRICH (1964), citado por FENGEL e WEGENER (1984), encontrou coníferas com uma alta porcentagem de açúcares simples em floema e nos limites de floema com xilema, decrescendo rapidamente o conteúdo em direção aos limites dos cerne e alburno. Segundo FENGEL e WEGENER (1984), os principais açúcares encontrados em folhosas são as glicoses, frutose e sacarose.

Vários métodos têm sido empregados para se determinar a presença de açúcares na madeira. De acordo com BROWNING (1967), a cromatografia de

camada delgada constitui-se num eficiente método para separar açúcares. Este método foi empregado por BROEKER e SIMATUPANG (1973), citados por SIMATUPANG et al. (1989) para detectar açúcares inibidores da cura do cimento Portland. Segundo eles, se as substâncias estão presentes, elas reagem na presença do cimento, fazendo com que não ocorra a solidificação do mesmo.

As outras substâncias encontradas em extrativos da madeira são os glicosídeos, esteróides, e as substâncias nitrogenadas. Dentre os glicosídeos se destacam a sapogenina e a saponina. Os esteróides são hormônios, tais como sitosterol e fitosterol. Enquanto que nas substâncias nitrogenadas estão incluídos os alcalóides, aminoácidos ácidos e proteínas que são substâncias de alto peso molecular. Este último, segundo FENGEL e WEGENER (1984), foram encontrados em xilema e outros tecidos das espécies como *Eucalyptus* sp., *Quercus robur*, *Betula alba*, e *Fagus sylvatica*.

2.1.2.2 Efeito da madeira sobre a pega e endurecimento do cimento

De acordo com CHITTENDEN et al. (1975), em geral a maioria dos produtos lignocelulósicos podem, teoricamente, ser empregados como matéria-prima para, junto com o cimento, compor as chapas minerais. A exigência maior se refere quanto a composição química desse material, a qual pode afetar a solidificação do cimento. As essências florestais são geralmente as mais utilizadas nas indústrias de painéis.

Vários estudos têm mostrado que a capacidade de solidificação do cimento na presença da madeira, é determinada pela composição química da mesma. De

acordo com SANDEMANN e SHMITZ (1966), citados por SIMATUPANG *et al.* (1978), os extrativos da madeira são os principais responsáveis pela inibição da solidificação do cimento. Seus princípios ativos são os compostos fenólicos e os carboidratos livres. De acordo com FISHER *et al.* e SANDERMANN (1966), citados por HACHMI e CAMPBELL (1989), a causa exata da inibição do cimento por essas substâncias é difícil de averiguar.

Ainda segundo SIMATUPANG *et al.* (1978), espécies de folhosas tropicais apresentam influência negativa mais pronunciada na pega e no endurecimento do cimento. Os estudos de determinação da concentração máxima desses compostos inibidores, mostram, que por exemplo no caso dos açúcares, seu efeito é influenciado pela concentração baseada no peso do cimento. Uma concentração abaixo de 0,1% de glicose, melhora as propriedades da chapa, e uma concentração de 0,125% de amido, produz um alto efeito inibidor, comparável a uma concentração de 0,25% de glicose. Esses efeitos podem também ser observados com sacaroses e xiloses.

Uma madeira recém abatida, contém maior quantidade de amido do que aquela abatida há algum tempo, o que a torna menos adequada ao uso na manufatura de chapas com partículas excelsior (SANDERMANN e SCHMITS, 1966, apud SIMATUPANG *et al.*, 1978). Deixando a madeira armazenada durante um determinado período, o conteúdo de amido, sacarose, glicose e frutose decresce (SCHWARZ e SIMATUPANG, 1977, apud SIMATUPANG *et al.*, 1978). Isto foi aplicado por LEE (1984), onde este estocou toras de pinus por um período de seis a oito semanas para provocar uma redução do conteúdo dos açúcares e também da umidade. Esse tipo de estudo também foi realizado por VALENZUELA (1989). Em

seu trabalho, o pesquisador estocou toras de *Betula* sp., *Quercus* sp., *Picea abies*, *Populus* sp. e *Salix* sp, por 3, 8, 12 e 18 meses. Os resultados apontaram que para todas as espécies houve uma redução fortíssima nos teores de açúcares nos primeiros três meses e uma ligeira diminuição até o oitavo mês.

SCHWARZ (1989), relata que em pesquisas realizadas pela Empresa Bison e por K. C. LEE, após um tempo de estocagem de 8 a 10 semanas, o conteúdo de açúcar reduziu para valores de aproximadamente 2%. Segundo o mesmo autor, AZIZOL e ALIN (1986), concluíram que após 20 semanas de estocagem da madeira, o teor de açúcar foi reduzido para 0,23% e o de amido para 1,08%. Segundo ele, o teor de açúcar e amido reduziu rapidamente nos primeiros estágios (até 12 semanas), permanecendo praticamente constante após esse período. Porém deve-se alertar que a redução de açúcar na madeira é influenciada pela temperatura, conteúdo de umidade e oxigênio.

BIBLIS e LO (1968), estudando o comportamento de pinus do sul dos Estados Unidos como matéria-prima para painéis de cimento-madeira, chegaram às seguintes conclusões: o fungo que provoca mancha azul proporciona um efeito satisfatório na pega do cimento pois, provavelmente, ele consome uma certa quantidade de açúcares encontrados na madeira; existe uma correlação direta entre a concentração de açúcares redutores e o tempo de pega do cimento; o tempo de pega do cimento é maior em madeiras de cerne e de lenho inicial, quando comparado com o tempo de pega em madeira de alburno e de lenho tardio respectivamente; o tratamento das partículas com água quente reduz o tempo de pega do cimento, provavelmente devido a solubilidade das substâncias inibidoras; o

cloreto de cálcio também age sobre os açúcares promovendo uma redução no tempo de pega do cimento.

Segundo SIMATUPANG (1986), citado por SOUZA (1994), quando o cimento hidrata em água, produz uma grande quantidade de hidróxidos, o que eleva o pH para 12 ou mais. Em solução alcalina, hemiceluloses, podem ser dissolvidas e degradadas em açúcares simples, tais como, glucose, manose e xilose. Estes açúcares tem um efeito danoso na hidratação e resistência do cimento. Esta interferência pode ser manifestada por uma redução da temperatura de hidratação, um aumento no tempo de pega e um decréscimo na resistência. Em casos extremos essas substâncias podem inibir totalmente o endurecimento do cimento.

Outro aspecto, abordado por FAN *et al.* (2000), a respeito da elevação do pH, resultante da presença de íons de cálcio na parede celular, é com relação a algumas alterações advindas a esse processo. Segundo eles, a alta alcalinidade é capaz de remover grande parte dos extrativos e dissolver consideráveis partes dos componentes da madeira, especialmente a hemicelulose, causando uma redução de massa e uma mudança nas dimensões do compósito. Conseqüentemente, ocorrerá um aumento da instabilidade dos painéis de cimento-madeira, devido às mudanças dimensionais das partículas promovidas pelo ataque alcalino.

Segundo FRICH (1989), na produção de chapas de cimento-madeira tornou-se óbvio que nem todas as espécies são igualmente adequadas. A Empresa Bison pesquisou várias espécies e concluiu que a madeira de pinus é mais adequada que de folhosas. Um fator importante nesses testes é o conteúdo de açúcar na madeira.

MILLER e MOSLEMI (1991-b), ressaltam que mesmo em coníferas, existe uma diferença entre a madeira juvenil e adulta. Para o caso da espécies larch, o

lenho juvenil produziu um efeito negativo muito mais pronunciado do que o lenho adulto. Eles atribuíram esse fenômeno a substância arabinogalactose, presente no lenho juvenil e ausente no lenho adulto.

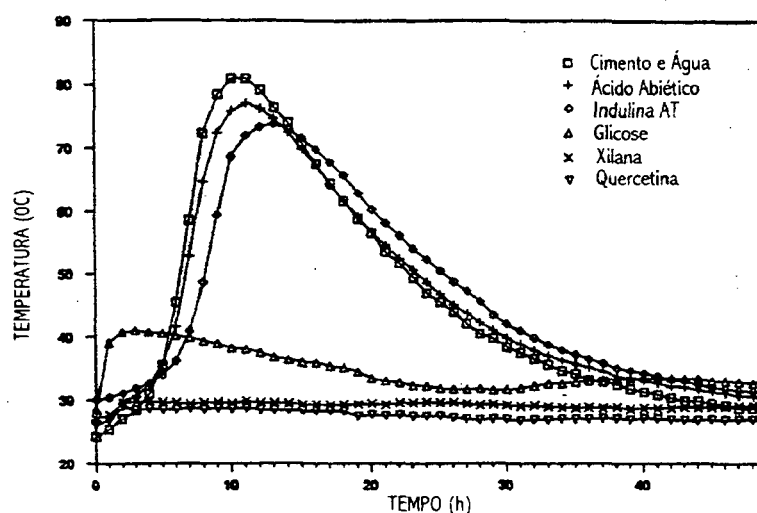
Pesquisas têm sido realizadas com o intuito de se identificar qual ou quais elementos constituintes da madeira afetam com maior intensidade a pega e solidificação do cimento. Estudos com base no teor de extrativos solúveis em água fria e/ou quente são os mais realizados. GNANAHARAN e DHAMODARAN (1985), por exemplo, estudando extrativos solúveis em água quente e fria e em NaOH (5%) de 13 espécies tropicais, concluíram que, as espécies mais e menos promissoras ao uso em chapas de cimento-madeira foram aquelas, respectivamente, que apresentaram o menor e maior percentual de extrativos. Resultados similares também foram encontrados por OYAGADE (1994) e YASIN e QURESHI (1989). Estes últimos, encontraram o melhor resultado de compatibilidade para a espécie (*Populus alba*) que apresentou menor conteúdo de extrativos solúveis em água quente. OYAGADE (1994), que analisou a compatibilidade de algumas espécies tropicais, concluiu que, para a espécie que apresentou a melhor compatibilidade com o cimento, através do estudo da evolução da temperatura de hidratação, a extração dos extrativos solúveis em água quente não resultou em melhorias de compatibilidade, porém, para as espécies menos compatíveis, a extração resultou num aumento considerável na compatibilidade.

HACHMI e MOSLEMI (1990), mostram que além dos teores de extrativos da madeira deve-se considerar também o pH destes. Esses autores relatam que extrativos da madeira com pH ácido, podem inibir a cristalização de cimento muito menos que extrativos mais alcalinos. Isto ocorre, provavelmente, devido a falta de

reações complexas entre íons de cálcio e extrativos ácidos, resultando num menor efeito sobre o nível crítico de concentração de íons de cálcio requeridos para a cristalização de cimento.

MILLER e MOSLEMI (1991-a), pesquisando o efeito de substâncias padrões representando substâncias presentes na madeira, encontraram que a celulose, lignina, ácidos graxos e terpenos não causaram efeito significativo à resistência a tração, enquanto que, taninos, hemicelulose e ácido acético causaram, ainda que muito pouco. Porém, a hemicelulose e tanino afetaram significativamente as características da hidratação. Um efeito inibidor pronunciado foi produzido pela glucose, xilose e a quercetina (Figura 5). A glucose reduziu em aproximadamente 50% a resistência à tração do cimento.

FIGURA 5 – EFEITO DE SUBSTÂNCIAS DA MADEIRA SOBRE A CURVA DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO



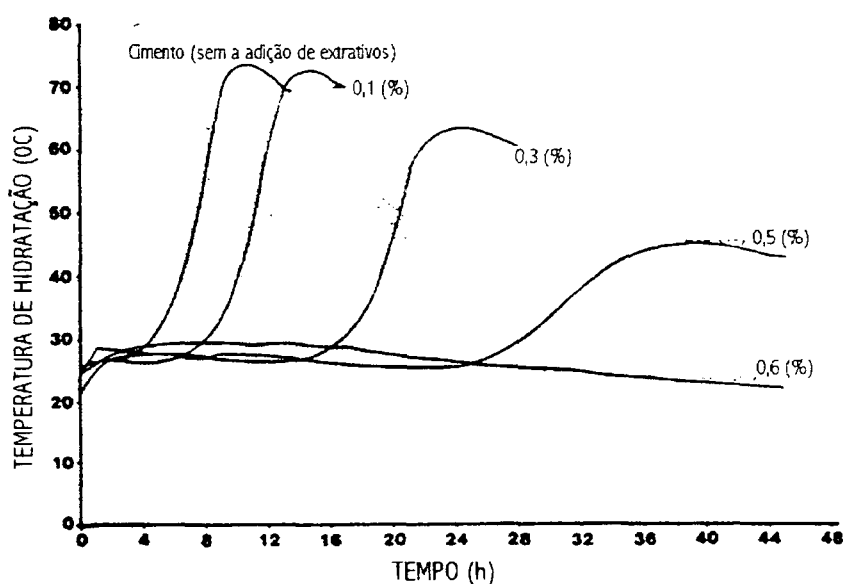
Fonte: MILLER e MOSLEMI (1991)

O efeito da variação dos níveis de extrativos sobre a hidratação do cimento, são também significativos, como descreve ZHENG TIAN e MOSLEMI (1986). Conforme se observa na Figura 6, a temperatura decresce significativamente

quando aumenta o percentual de extrativos. Esse rompimento do processo de hidratação afeta totalmente o endurecimento do cimento e o desenvolvimento da resistência.

A compatibilidade de espécies para produção de chapas de cimento-madeira, em geral, diminui quando o teor de extrativos dessas aumenta, de acordo com HACHMI e MOSLEMI (1989). Apesar disso, esses pesquisadores encontraram algumas exceções. Nessa pesquisa, a espécie *Acacia mollissima*, que continha baixo conteúdo de extrativos (7,7 %), apresentou um resultado de incompatibilidade, enquanto que a espécie *Quercus suber* (Mamora virgin-cork), com alto teor de extrativos (10,8 %), foi considerada apta ao uso. Isso indica, segundo eles, que o conhecimento da composição química tem um papel importante para se determinar a compatibilidade para o uso em chapas. Assim, é essencial também, se conhecer as substâncias que compõem os extrativos, e não só, sua concentração.

FIGURA 6 – EFEITO DO AUMENTO DO NÍVEL DE EXTRATIVOS SOBRE A CURVA DE HIDRATAÇÃO



Fonte: ZHENG TIAN e MOSLEMI (1986)

Outro fator importante relacionado a madeira é o tamanho e a forma das partículas. Apesar disso, SORFA e BONGER (1982), relatam que para este assunto não tem sido dada a devida importância.

CASTRO (2000), descreve a importância da geometria das partículas e da densidade da madeira nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis de cimento-madeira. Segundo esse autor relata, pesquisa desenvolvida por TEIXEIRA e PEREIRA (1987), mostrou que painéis de cimento-madeira produzidos com partículas de *Pinus* sp. apresentaram resistência superior às de *Acacia molissima* Wild, pois além de apresentarem uma menor densidade, as partículas originadas da conífera eram mais planas e de espessura inferior à da folhosa.

As propriedades mecânicas têm relações estreitas com o tamanho das partículas. Segundo SORFA e BONGER (1982), a resistência à flexão estática é maior quando partículas de maiores dimensões são utilizadas e, porém, partículas menores são responsáveis por resistência à compressão mais elevada.

A compatibilidade entre a madeira e o cimento, é influenciada, segundo WEATHERWAX e TARKOW (1964), pela geometria das partículas. Segundo esses pesquisadores, existe uma relação quase que linear entre o tamanho das partículas e o índice de inibição, ou seja, à medida que se diminui o tamanho da partícula o índice de inibição se torna maior. No experimento realizado por VALENZUELA (1989), essa tendência também foi observada. Segundo esse pesquisador, a medida que se diminuiu o tamanho das partículas ocorreu uma redução da temperatura máxima da reação de hidratação.

2.1.2.3 Pesquisas com espécies do gênero *Eucalyptus*

A utilização da madeira de eucalipto na produção do compósito cimento-madeira, em nível industrial, ainda é inexistente. Apesar de ser um dos gêneros mais promissores em termos de utilização comercial, apenas pesquisas científicas têm sido realizadas procurando investigar a sua aptidão para uso na manufatura desses painéis.

Pesquisando a aptidão da espécie *Eucalyptus globulus* ao uso em chapas de cimento-madeira, VALENZUELA *et al.* (1983), concluíram que a mesma era promissora. Em outra pesquisa, VALENZUELA (1989) ratificou esse resultado, apesar da espécie *Eucalyptus globulus* não ter sido a mais adequada dentre aquelas pesquisadas. Os resultados obtidos de temperatura (56,5 °C), tempo (1170 min) de hidratação e resistência à compressão axial (63 kgf/cm²) e diametral (12,15 kgf/cm²) foram considerados bons. No mesmo trabalho, o autor cita que SANDERMAM *et al.* (1964) e MARUTZKY (1986) encontraram para a espécie *Eucalyptus diversicolor*, uma elevação de temperatura que variou de 40 a 55 °C.

SHUKLA *et al.* (1984), encontraram resultados satisfatórios para a espécie *Eucalyptus camaldulensis*. Essa espécie, dentre 36 folhosas estudadas, foi uma das mais aptas, conforme estudo realizado por JAIN *et al.* (1989). HACHMI e MOSLEMI (1989) e HACHMI *et al.* (1990), utilizando diferentes métodos, classificaram as espécies *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus gomohocephala*, dentre aquelas consideradas mais compatíveis com o cimento, sendo que, a espécie *E. camaldulensis* obteve um melhor desempenho.

Esse resultado não tem sido observado para a espécie *Eucalyptus grandis*. Testes de resistência à tração e ao fogo e, condutibilidade térmica, realizados por HAWKES e ROBISON (1978) e RAHIM e ONG (1983), não classificaram essa espécie como sendo apta ao uso para produção de chapas minerais.

Resultados, considerados bons, com híbrido urograndis (*Eucalyptus grandis* x *urophylla*), foram encontrados por DEL MENEZZI e SOUZA (2000). Eles analisaram as propriedades físicas e mecânicas desse híbrido com a presença e ausência da casca. A inclusão da casca, como um substitutivo da madeira, proporcionou um aumento dos valores de propriedades mecânicas, especialmente nas propriedades de ligação interna e módulo de ruptura na flexão. Segundo esses pesquisadores, isso se deve ao fato de que extrativos solúveis em água, originários da casca, apresentam um pH mais ácido do que o extrativo da madeira.

Outras espécies, como *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* também têm sido testadas. Esta última obteve uma classificação considerada como satisfatória por MANZANARES et al. (1991). Na pesquisa, observou-se uma variação na aptidão dessa espécie quando se utilizava madeira de diferentes idades. Árvores mais jovens apresentaram piores resultados em relação a árvores mais velhas. Isso é atribuído, segundo os pesquisadores, ao fato de que o conteúdo de taninos, carboidratos, açúcares e outros extrativos decrescem à medida em que a idade das árvores aumenta.

Eucalyptus dunnii, segundo LATORRACA (1996), tem possibilidades para o uso em chapas de cimento-madeira. A pesquisa mostrou resultados satisfatórios para o módulo de elasticidade na flexão estática, mas não tão bom para a ligação interna. Apesar disso, conforme o autor, resultados melhores podem ser esperados,

uma vez que os tratamentos de partículas aplicadas no estudo contribuíram negativamente nos resultados.

LATORRACA *et al.* (1999), analisando o efeito inibidor de cinco espécies, obteve um baixo índice de inibição para a espécie *Eucalyptus citriodora*. Este resultado foi inferior, inclusive, ao índice de uma conífera (*Pinus taeda*), o que pode conferir à espécie uma grande possibilidade de uso em chapas.

2.1.3 ÁGUA

A água é necessária para que ocorram as reações químicas do aglutinante, para os aditivos se dissolverem, e também, para permitir a mistura do cimento que irá revestir as partículas de madeira uniformemente (SCHMITZ, 1959, citado por SIMATUPANG *et al.*, 1978). Ainda de acordo com SCHMITZ (1959), a água necessária acima da quantidade teórica requerida para que ocorram as reações químicas do aglutinante, tem sido adicionada, e durante a cura, parte do excesso dessa água é evaporada deixando microporos.

Muitas das propriedades mecânicas do cimento, segundo NEVILLE (1997), não dependem tanto da composição química do cimento quanto da estrutura física dos produtos de hidratação. Em qualquer estágio da hidratação, a pasta endurecida consiste de produtos hidratados dos diversos compostos, denominados genericamente de gel, de cristais de Ca(OH)_2 , cimento não hidratado e espaços residuais cheios de água na pasta fresca. Estes vazios são denominados de poros capilares, porém existem também os poros chamados de gel que são vazios intersticiais no interior do gel. Para o caso de concretos, NEVILLE (1982) e

TARTUCE e GIOVANNETTI (1990), explicam que, quando um concreto está plenamente adensado, a sua resistência é inversamente proporcional à relação água:cimento (doravante citado como relação A/C). Esta relação, segundo NEVILLE (1982), determina a porosidade da pasta do cimento em qualquer estágio da hidratação, assim, tanto a relação A/C , quanto o grau de adensamento têm influência sobre o volume de vazios. A rigor, a resistência do concreto é influenciada, provavelmente, pelo volume total de vazios do concreto: ar aprisionado, poros capilares, poros de gel e ar incorporado.

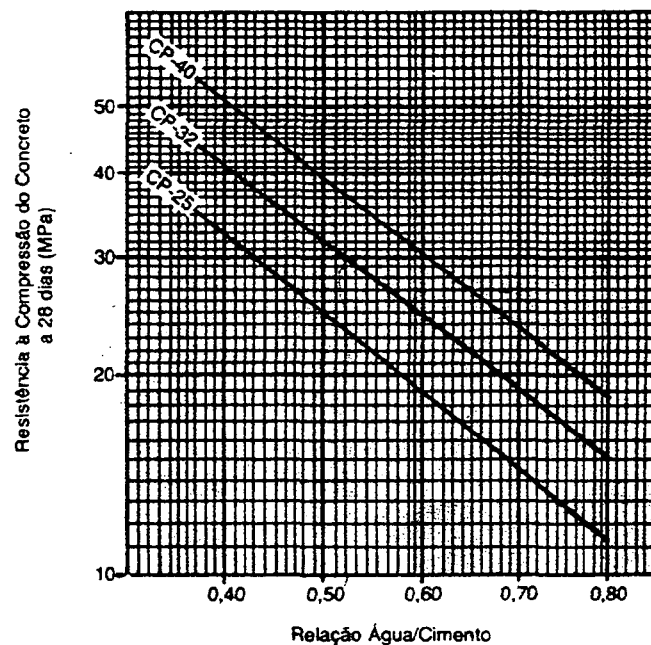
A resistência dos painéis de madeira:cimento, segundo SIMATUPANG et al. (1978), também é muito influenciada pela presença de todos os tipos de poros. Assim, a quantidade de água a ser adicionada deve ser mantida em níveis mínimos. Como ocorre com o concreto, a propriedade de resistência dos painéis de cimento-madeira varia com a quantidade de água adicionada.

TARTUCE e GIOVANNETTI (1990) relatam que pode-se obter rapidamente, através de curvas, qualquer relação A/C para a correspondente resistência, considerando o tipo de cimento a ser utilizado (Figura 7). NEVILLE (1982), salienta também, a respeito disso, que no caso de cimento de alta resistência inicial, a sua dosagem também influencia na resistência.

De acordo com NEVILLE (1997), uma quantidade de cimento, num ambiente lacrado, onde não seria permitida a entrada ou saída de água da pasta, somente seria possível uma hidratação completa quando a mistura tiver com uma relação A/C igual a 0,5 em massa. Caso haja água disponível no exterior, utilizando uma relação superior a 0,38 em massa, todo o cimento poderá se hidratar, mas também estarão presentes poros capilares. A figura 8 mostra os volumes relativos do cimento não

hidratado, dos produtos de hidratação e dos capilares de misturas com diferentes relações A/C.

FIGURA 7 - GRÁFICO PARA SE DETERMINAR, DE MANEIRA APROXIMADA, O FATOR ÁGUA:CEMENTO, LEVANDO-SE EM CONTA O TIPO DE CIMENTO PORTLAND UTILIZADO

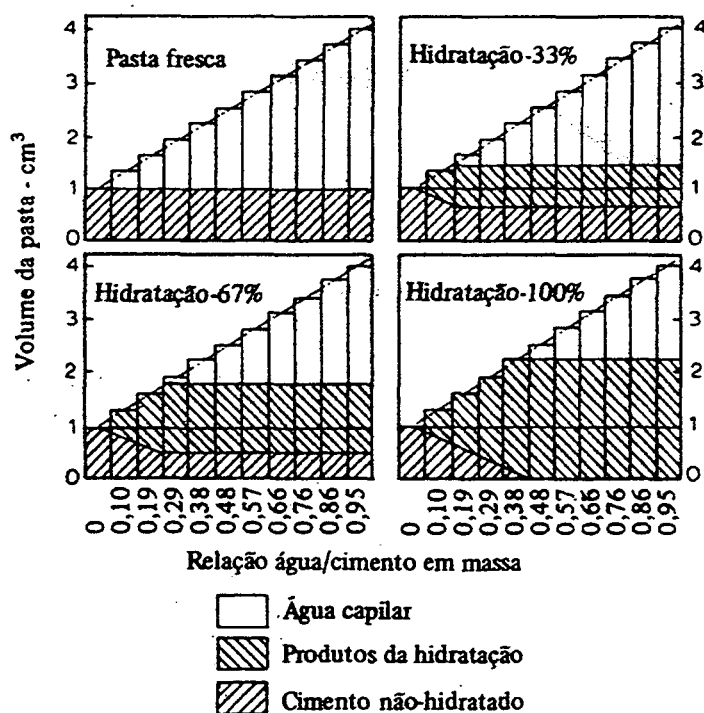


Fonte: TARTUCE e GIOVANNETTI (1990)

Pastas com menor relação A/C têm maior resistência. Valores elevados de resistência foram obtidos com relação A/C igual a 0,08 em massa, ou seja, extremamente baixa. Porém, seria necessário uma pressão considerável para se obter uma mistura adensada com essas proporções (NEVILLE, 1997).

NAMIOKA *et al.* (1977), citado por SIMATUPANG *et al.* (1978), descrevem que a proporção ótima de água:cimento, decresce com o aumento da densidade da chapa e aumenta um pouco quando se diminui as dimensões das partículas de madeira. De forma geral, SIMATUPANG e SCHWARZ (1977), citados por SIMATUPANG *et al.* (1978), relatam que para obtenção de chapas de alta densidade é tomada uma proporção de água em relação ao cimento de 0,4.

FIGURA 8 - COMPOSIÇÃO DE PASTA DE CIMENTO EM DIFERENTES ESTÁGIOS DE HIDRATAÇÃO



Fonte: NEVILLE (1997)

Segundo informações da Federação da Indústria Cimenteira da Bélgica (citado por VALENZUELA, 1989), a quantidade mínima de água para hidratação situa-se entre 20 e 40% (em massa). Mas, segundo o pesquisador, uma relação A/C de 0,4 conduz a ótimos resultados, apesar de na prática ser mais recomendável utilizar uma relação de 0,5 em massa. Relações A/C menores, tais como 0,20, dificultam a mistura dos componentes.

A água está presente no processo de produção das chapas sob três formas: água livre adicionada de acordo com o conteúdo de umidade das partículas, água utilizada na dissolução dos aditivos e, a água presente na madeira (BIRAULT, 1989). É necessário adicionar água até o ponto de saturação das fibras (P.S.F.), pois considera-se que abaixo do P.S.F., a água não estará disponível ao cimento como um líquido (SIMATUPANG et al., 1978). Assim, equações desenvolvidas para

determinar a quantidade de água, geralmente levam em consideração a umidade no P.S.F.. Esse exemplo pode ser observado na equação 1 sugerida por SIMATUPANG (1979) e apresentada por MOSLEMI e PFISTER (1987):

$$\text{Água} = 0,35C + (0,30 - TU) \cdot M \quad [1]$$

onde:

C = cimento (kg)

TU = Teor de umidade da madeira

M = Madeira (kg)

A água deve ser livre de componentes inibidores da cura do cimento, como normalmente é conhecido na química do concreto (SIMATUPANG et al., 1978, p. 16-17). Segundo informações de KATTAR e ABREU (1999), o efeito das impurezas na água depende da natureza e o teor das substâncias encontradas, tais como, óleos, ácidos e matéria orgânica.

2.1.4 ADITIVOS

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (1994), a indústria de aditivos, durante os últimos 40 anos, cresceu enormemente, em função do entendimento de que as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como endurecido, podem ser modificadas pela adição de certos materiais. Segundo esses autores, os aditivos variam de tensoativos, sais solúveis e polímeros a minerais insolúveis. As finalidades para as quais eles são geralmente utilizados incluem a melhora da trabalhabilidade, aceleração ou aumento de tempo de pega, controle do desenvolvimento da resistência, dentre outras.

Os aditivos, segundo NEVILLE (1997), podem ser orgânicos e inorgânicos quanto a sua composição, mas a sua natureza química é a sua principal característica, ao contrário dos minerais.

MEHTA e MONTEIRO (1994) e NEVILLE (1997), apresentam a classificação dos aditivos, segundo a Norma Americana ASTM C 494-92. Na realidade, de acordo com a nomenclatura americana, eles são designados como aditivos químicos. Tal classificação apresenta os seguintes tipos de aditivos:

- Tipo A – Plastificantes (Redutor de água)
- Tipo B – Retardadores (Retardador de pega e endurecimento)
- Tipo C – Aceleradores (Acelerador da resistência inicial)
- Tipo D – Plastificantes retardadores (Redutor de água e retardador de pega e endurecimento)
- Tipo E – Plastificantes aceleradores (Redutor de água e acelerador de pega e endurecimento)
- Tipo F – Superplastificantes (Redutor de água de alta eficiência)
- Tipo G – Superplastificantes retardadores (Redutor de água de alta eficiência e retardador)

Alguns aditivos, segundo SOUZA (1992), tem sido empregados com o propósito de se reduzir o tempo de endurecimento do cimento em chapas de cimento-madeira. Os aceleradores, como são chamados, tem a função, segundo ZHENG TIAN e MOSLEMI (1985), de eliminar os efeitos desfavoráveis das substâncias solúveis em água da madeira, sobre o endurecimento, além de reduzir o longo período de tempo de cura dos painéis. ZUCCO (1999), relata que com o endurecimento rápido, obtido através do aumento na formação da estrutura cristalina

do cimento, não são liberadas imediatamente substâncias inibidoras solúveis em água, presentes na madeira, em quantidades que impeçam a reação exotérmica do cimento.

SIMATUPANG *et al.* (1978), relatam que os aditivos cloreto de cálcio e magnésio, silicato de sódio ou potássio e uma mistura de sulfato de alumínio e cal hidratado, são mais comumente utilizados em uma solução diluída de 1 - 5%, e, em relação ao cimento variam numa faixa de 0,5 - 3%.

O acelerador mais comumente utilizado durante muitas décadas, segundo NEVILLE (1997), foi o cloreto de cálcio. Possivelmente porque este aditivo, é eficiente para aceleração da hidratação dos silicatos de cálcio, principalmente o C_3S , além de ser muito barato.

O cloreto de cálcio tem sido empregado com sucesso por vários pesquisadores. MOSLEMI *et al.* (1983), avaliando o efeito de quatro aditivos, verificaram que a adição de 5% de cloreto de cálcio produziu o melhor resultado dentre os pesquisados. Esse resultado também foi obtido por RASHWAN *et al.* (1992). Na pesquisa, eles concluíram que esse aditivo, adicionado a 4%, foi o mais eficiente, acelerando o processo de hidratação.

Inúmeros aditivos têm sido testados. ZHENG Tian e MOSLEMI (1985), estudaram o efeito de 30 substâncias sobre a temperatura e o tempo de hidratação do compósito madeira (larch)-cement-water. Eles encontraram que certos aditivos exerceram efeitos negativos sobre a hidratação e, dentre aqueles que apresentaram os melhores resultados estava incluído o cloreto de cálcio.

O sulfato de alumínio e o silicato de sódio são utilizados em nível industrial na França e no México, conforme BIRAULT (1989) e SOLÓRZANO (1989)

respectivamente. Segundo BIRAULT (1989), tanto o sulfato de alumínio como o silicato de sódio aceleram o endurecimento do cimento e ainda promovem uma proteção da madeira contra o ambiente alcalino.

A quantidade de aditivo a ser adicionado varia de acordo com a espécie que se utilizará (VALENZUELA, 1989). Segundo esse pesquisador, os valores podem variar de 2 a 7% (com base no peso do cimento).

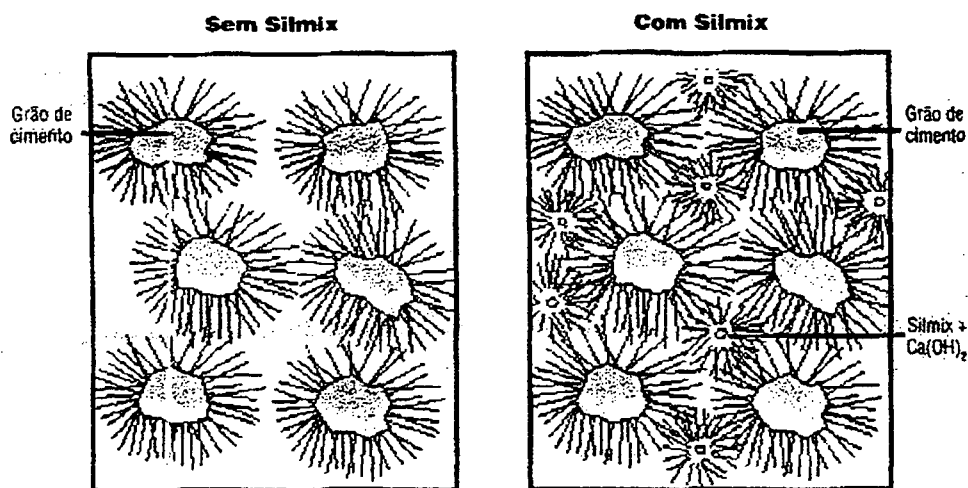
Aditivos minerais, como a sílica fume, é um dos mais promissores aditivos para o uso em chapas minerais (LANGE et al., 1989). Segundo esses autores, a substituição do cimento Portland por várias porções de sílica fume tem um efeito surpreendente sobre as propriedades de resistência das chapas feitas com espécies de baixa compatibilidade. A efetiva proporção de sílica fume para substituir o cimento na mistura depende da aptidão da espécie. Virtualmente, espécies com menos aptidão requerem uma proporção maior, cerca de 50%. Já com espécies mais adequadas, uma proporção menor, cerca de 30%, é sugerida.

A adição de SILMIX (produto à base de sílica fume) de acordo com informações da Camargo Correa Metais (2000), deixa o compósito impermeável. Em contato com hidróxido de cálcio, liberado pela hidratação do cimento, resulta na formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Esta ação provoca a redução considerável do tamanho dos poros (Figura 9). Ao mesmo tempo eles ficam praticamente incomunicáveis entre si, impedindo a passagem de fluídos, melhorando significativamente a qualidade de cristalinização do cimento, tornando-o muito mais resistente à compressão e à tração.

2.2 INTERAÇÃO CIMENTO-MADEIRA

Segundo COUTS e KIGHTLY (1984), citados por SOUZA (1994), a adesão entre a madeira e o cimento pode ser física, química ou uma combinação de ambas. A adesão física ocorre pelo entrelaçamento interfacial, enquanto que a química por pontes de hidrogênio. HACHMI e CAMPBELL (1989), relatam que o desenvolvimento da adesão entre o cimento e a madeira pode ser dividido em três estágios. O primeiro é um estágio químico na qual a madeira e o cimento têm uma alta mobilidade que diminui com o tempo. O segundo estágio é químico e físico. O cimento começa a cristalizar e desenvolve uma matriz que envolve a madeira. O terceiro estágio é físico e pode continuar por muitos anos.

FIGURA 9 – DESENHO ESQUEMÁTICO APRESENTANDO A ESTRUTURA DA MATRIZ DE CIMENTO COM A PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE SILMIX (SÍLICA FUME)



Fonte: CAMARGO CORREIA METAIS S/A (2000)

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), a principal fonte de resistência nos produtos sólidos da pasta, ou seja, silicato de cálcio hidratado (C-S-H), sulfoaluminatos de cálcio, hidróxido de cálcio e grãos de clínquer não hidratado, é a existência de forças de atração de *Van der Waals*. De acordo com esses autores a

adesão entre duas superfícies sólidas pode ser atribuída a estas forças. Os pequenos cristais de C-S-H e sulfoaluminatos de cálcio possuem área específica e capacidade de adesão elevados. Estes produtos de hidratação do cimento Portland tendem a aderir fortemente, não só entre si, mas também a sólidos com área específica baixa, tais como hidróxidos de cálcio, grãos de clínker anidro e partículas de agregado miúdo e graúdo.

AHN e MOSLEMI (1980) relatam que o cimento sofre interferência por açúcares de formação cristalina, afetando desta maneira a possível interação entre a madeira e o cimento, e, a interação interna do próprio cimento, o que segundo WEATHERWAX e TARKOW (1964), resulta em chapas de qualidades inferiores.

HACHMI e CAMPBELL (1989) atribuíram aos açúcares simples, que migram para superfície da madeira durante a secagem, a responsabilidade pela interação inibitória entre o cimento e a madeira. Provavelmente tais açúcares formam uma camada inibitória reduzindo a velocidade da reação de hidratação do cimento. Além desses açúcares, extrativos não polares, tais como terpenos, resinas e gorduras, podem, provavelmente, também reduzir a resistência dos painéis de cimento-madeira. Segundo eles, a água e sais dissolvidos (principalmente hidróxido de cálcio) são absorvidos pela madeira causando inchamento. Tal inchamento ocorre principalmente nas hemiceluloses devido a sua estrutura amorfa. Como os cátions metálicos e íons hidróxidos migram para o interior da parede celular, determinadas substâncias da madeira, como extrativos, açúcares simples e hemiceluloses começam a formar complexos, solúveis e/ou insolúveis, com os sais dissolvidos. Estes processos, relatam os autores, cessa ligações de hidrogênio e formam novos complexos iônicos, favorecendo o inchamento da madeira. Alguns desses extrativos

e hemiceluloses dissolvem-se em meio alcalino e difundem-se na interface cimento-madeira. Os carboidratos complexarão com cálcio, alumínio e cátions férricos através de hidrólises sobre manoses e galactoses ou através de grupos de ácido glucorônico para retardar a taxa de hidratação do cimento e reduzir sua cristalinidade e resistência.

NEVILLE (1997) relata que a ação de retardadores de pega e endurecimento do cimento pode ser explicada pelo fato de que eles modifiquem o crescimento dos cristais ou sua morfologia, sendo absorvidos sobre a camada de cimento hidratado que se forma rapidamente, tornando lento o crescimento dos núcleos dos cristais de hidróxido de cálcio.

2.2.1 AVALIAÇÃO DA APTIDÃO DA MADEIRA

Alguns testes têm sido sugeridos na literatura para se avaliar a compatibilidade da madeira para com o cimento. Um dos mais difundidos e usado é o proposto por SANDERMANN e KOHLER (1964) (GNANAHARAN e DHAMODARAN, 1985; HACHMI *et al.*, 1990; MANZANARES *et al.*, 1991). Esse método tem sofrido modificações e, segundo GNANAHARAN e DHAMODARAN (1985), ele consiste em mensurar a elevação da temperatura de hidratação durante o processo de endurecimento da mistura cimento-madeira-água.

WEATHERWAX e TARKOW (1964), desenvolveram um índice para medir a extensão da inibição da madeira baseando-se no aumento do tempo para endurecimento do cimento. A equação (2) sugerida é:

$$I = \left(\frac{t'_2 - t_2}{t_2} \right) \times 100 \quad (\%) \quad [2]$$

onde:

t'_2 = tempo requerido para que a temperatura máxima da mistura madeira, cimento e água seja atingida;

t_2 = tempo requerido para que a temperatura máxima da mistura cimento e água seja atingida.

HOFSTRAND et al. (1984), além do tempo de hidratação, incorporaram também na equação (demonstrada abaixo) a temperatura máxima da mistura cimento-madeira-água e cimento-água, além da variação máxima do tempo e da temperatura.

$$II = 100 \times \left[\left(\frac{t_2 - t'_2}{t'_2} \right) \times \left(\frac{T'_2 - T_2}{T'_2} \right) \times \left(\frac{S'_2 - S_2}{S'_2} \right) \right] \quad [3]$$

$$S'_2 = \frac{\Delta T'_2}{\Delta t'_2} \quad S_2 = \frac{\Delta T_2}{\Delta t_2}$$

onde,

t_2 = tempo para se atingir a temperatura máxima de hidratação da mistura água-cimento;

t'_2 = tempo para se atingir a temperatura máxima de hidratação da mistura água-cimento-madeira;

T_2 = Temperatura máxima atingida pela mistura cimento-água

T'_2 = Temperatura máxima atingida pela mistura cimento-madeira-água

S_2 = Variação máxima de temperatura por hora para mistura cimento-água;

S'_2 = Variação máxima de temperatura por hora para mistura cimento-madeira-água;

HOFSTRAND et al. (1984), consideraram espécies com baixo e alto índice de inibição, como sendo aquelas que obtiveram valores inferiores a 10% e superiores a 50%, respectivamente. Segundo HACHMI et al. (1990) citam, SANDERMANN e KOHLER (1964) consideraram espécies adequadas, aquelas que obtiveram uma elevação de temperatura acima de 60 °C. As inadequadas, são aquelas que não excederam a 50° C e, as intermediárias as que tiveram uma elevação entre 50 e 60° C.

Para se obter uma elevação de temperatura nos níveis apresentados anteriormente, é necessário que a mistura cimento-madeira seja depositada no interior de um frasco adiabático. Nesse ensaio a relação cimento-madeira utilizada, não é a mesma aplicada na prática. O ideal, segundo VALENZUELA (1989), seria se utilizar a mesma relação, porém isso não é possível, porque, para se obter uma elevação da temperatura da mistura, tal que a medida tenha uma precisão suficiente, teria que se utilizar uma proporção de cimento mais elevada, relativa ao volume do frasco (garrafa térmica) e a absorção calorífera do sistema.

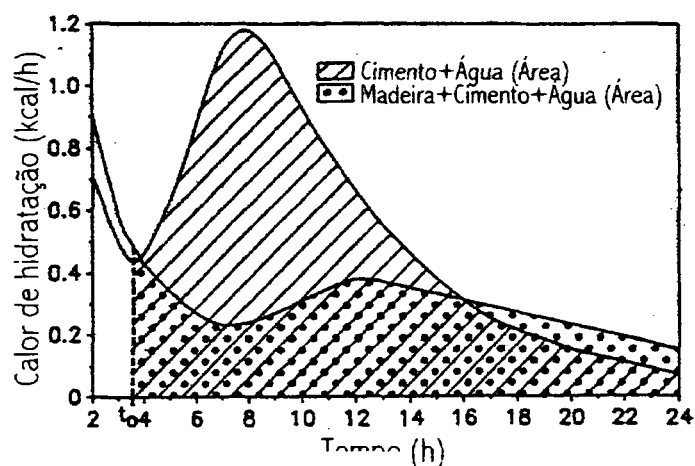
A compatibilidade da madeira e do cimento tem sido calculada, segundo HACHMI et al. (1989), através do método fator C_A . Esse fator é definido como sendo a área sob a curva de hidratação da mistura cimento-madeira-água, dividido pela área sob a curva de hidratação da mistura cimento-água (Figura 10). O fator C_A , revela espécies aptas, aquelas que possuem valores relativos próximo de 100% e, por outro lado, as mais inadequadas aquelas que apresentarem valores abaixo de 25%.

Outros pesquisadores, segundo LEE e SHORT (1989), têm usado a resistência à compressão da mistura cimento-madeira-água como indicador de

compatibilidade. LEE et al. (1986), utilizaram a resistência de corpos-de-prova cilíndricos para determinar a compatibilidade de várias espécies com o cimento portland. Eles reportaram que a resistência à compressão foi linearmente proporcional à temperatura máxima de hidratação, mas independente do tempo de hidratação. Esse ensaio de compressão, também foi empregado para se determinar o efeito da adição de CaCl_2 na mistura. Eles encontraram que, a adição de 3% desse aditivo químico, reduziu a inibição de algumas espécies.

Além desses métodos de avaliação da compatibilidade, existem ainda outros que utilizam a evolução da temperatura de hidratação para gerar equações, como é o caso da empregada por HACHMI et al. (1990). Eles utilizam valores de temperatura máxima e tempo de hidratação para determinar, o que eles chamam de razão do índice de temperatura máxima.

FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO DA ÁREA SOB A CURVA DE HIDRATAÇÃO PARA A MISTURA CIMENTO E ÁGUA E MADEIRA, CIMENTO E ÁGUA.



Fonte: HACHMI et al. (1990)

Evidentemente o resultado das propriedades físicas e mecânicas dos painéis são, na realidade, o que mais interessa. Portanto, torna-se claro que os valores obtidos para as propriedades dos painéis, são também utilizados para se determinar

a aptidão das espécies. Porém, o estudo da evolução da temperatura, segundo LATORRACA (1996), é importante, uma vez que pode-se dispensar, em determinadas circunstâncias, todo o trabalho de se ter que produzir painéis para se obter respostas a respeito da aptidão ao uso de determinada espécie.

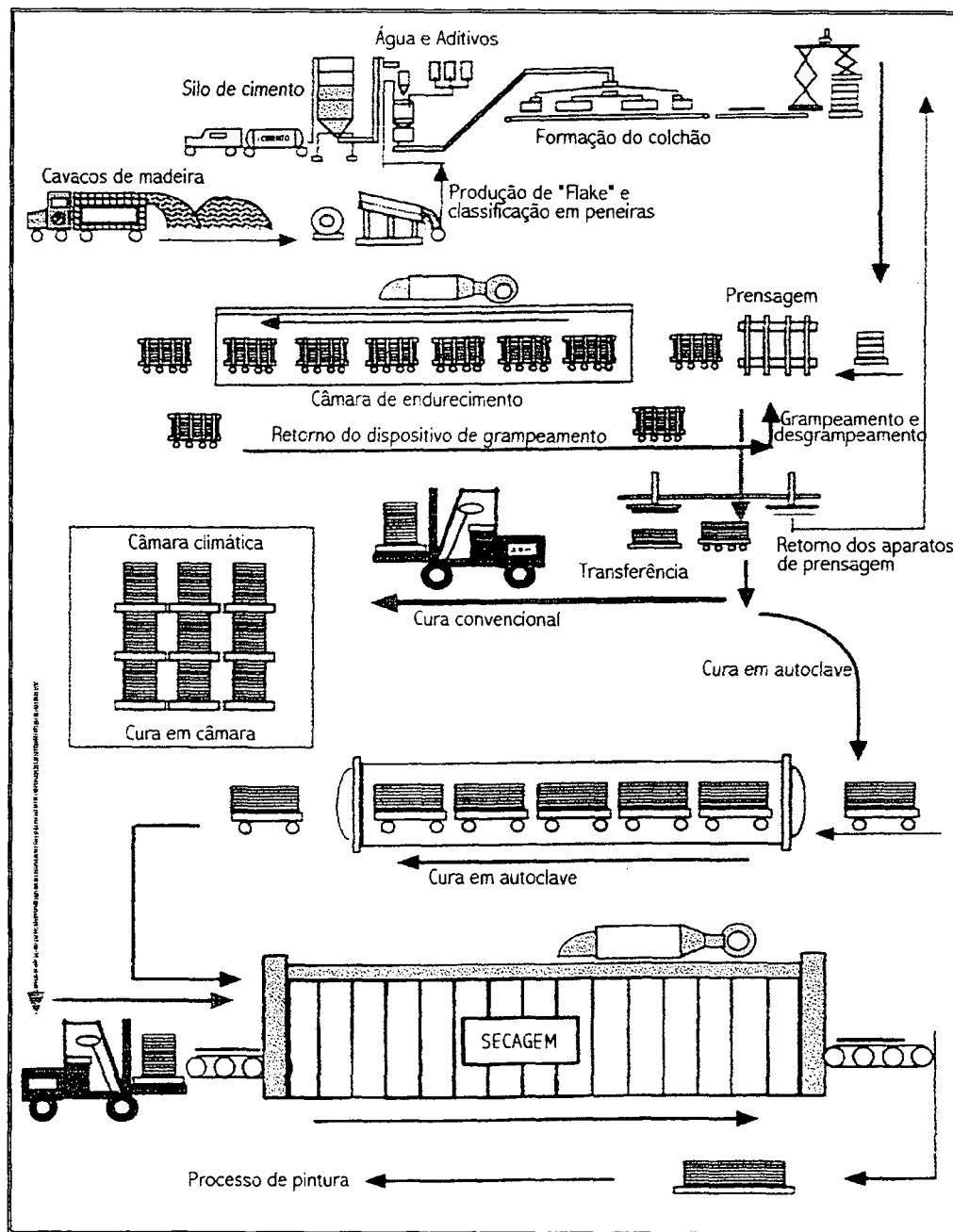
2.3 CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA: PROCESSO E APLICAÇÕES

Os painéis de cimento-madeira, segundo MOSLEMI (1998), são produzidos em plantas relativamente pequenas, quando comparadas às plantas de aglomerado convencional. Essa pequena capacidade é devido à lenta velocidade de cura dos painéis. A Figura 11 ilustra uma linha típica de produção. Nota-se que a madeira é reduzida em partículas ("flake" ou outro tipo). Essas partículas são classificadas em sistemas de peneiras, onde são separadas por tamanho desejado. Neste estágio não é necessário a secagem das mesmas. A madeira, o cimento e a água são misturados juntos para formar o colchão que será levado para prensagem. De acordo com DIX (1989), a quantidade precisa desses materiais é controlada por um dispositivo eletrônico e, a preparação dos aditivos químicos é realizada em tanques especiais, utilizando um sistema controlado automaticamente.

Um número desses colchões, segundo MOSLEMI (1998), são depositados sob aparatos (placas) onde serão prensados e grampeados por meio de um dispositivo especialmente desenhado. DIX (1989), relata que a formação do colchão na estação formadora, que varia de planta para planta, é realizada sobre aparatos de aço em uma linha que se movimenta ininterruptamente. Uma mistura contendo

partículas finas são depositadas para formar as camadas superficiais das chapas e outra, com partículas maiores, formam o miolo.

FIGURA 11 – LAY-OUT DE UM PLANTA DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA, INCORPORANDO UM AUTOCLAVE PARA CURA DAS CHAPAS



Fonte: MOSLEMI (1998)

Segundo MOSLEMI (1998), logo após serem grampeadas, as chapas são transferidas para uma câmara de cura para o endurecimento e o desenvolvimento da

resistência e, de acordo com informações de SOLÓRZANO (1989) e DIX (1989), as mesmas ficam ali por um período de 6 a 8 h a uma temperatura de 60° C. Para VALENZUELA (1989), o objetivo das chapas permanecerem nessas câmaras, é obter uma boa hidratação do cimento e não deixar que ocorra perda de calor. Mas, segundo ele, as chapas permanecem ali durante 8 a 12 h a uma temperatura de 70° C. Com a elevação da temperatura de cura aumenta-se a velocidade do endurecimento e resistência, segundo NEVILLE (1982). À pressão atmosférica o processo pode ser considerado como um caso especial de cura úmida.

Ao completar o processo de cura, as chapas retornam a prensa onde os grampos são abertos e os aparatos de prensagem retornam para linha de produção. As chapas são esquadrejadas e estocadas em pátio, por 10 a 14 dias (DIX, 1989; MOSLEMI, 1998). MOSLEMI (1998), acrescenta que, pesquisas no Japão indicam que, com a inclusão de um autoclave na linha de produção e com modificações na formulação dos materiais dos painéis, pode ser eliminada a necessidade de curar as chapas em pátio.

Após a maturação, os painéis são transportados através de uma estufa de secagem, que assegurará que os mesmos ficarão com o teor de umidade entre 9 a 10% (DIX, 1989). Já condicionadas, as chapas recebem o acabamento final para que então possam estar disponíveis para comercialização (MOSLEMI, 1998).

Sua provada versatilidade permite, segundo DIX (1989), que os painéis de cimento-madeira sejam utilizados em uma vasta gama de aplicações, superior a qualquer outro tipo de painel. Desde o início dos anos sessenta, os painéis de cimento-madeira, têm sido utilizados sucessivamente em ambientes com variações climáticas, tais como, quente e frio e seco e úmido. Essa única propriedade faz dele,

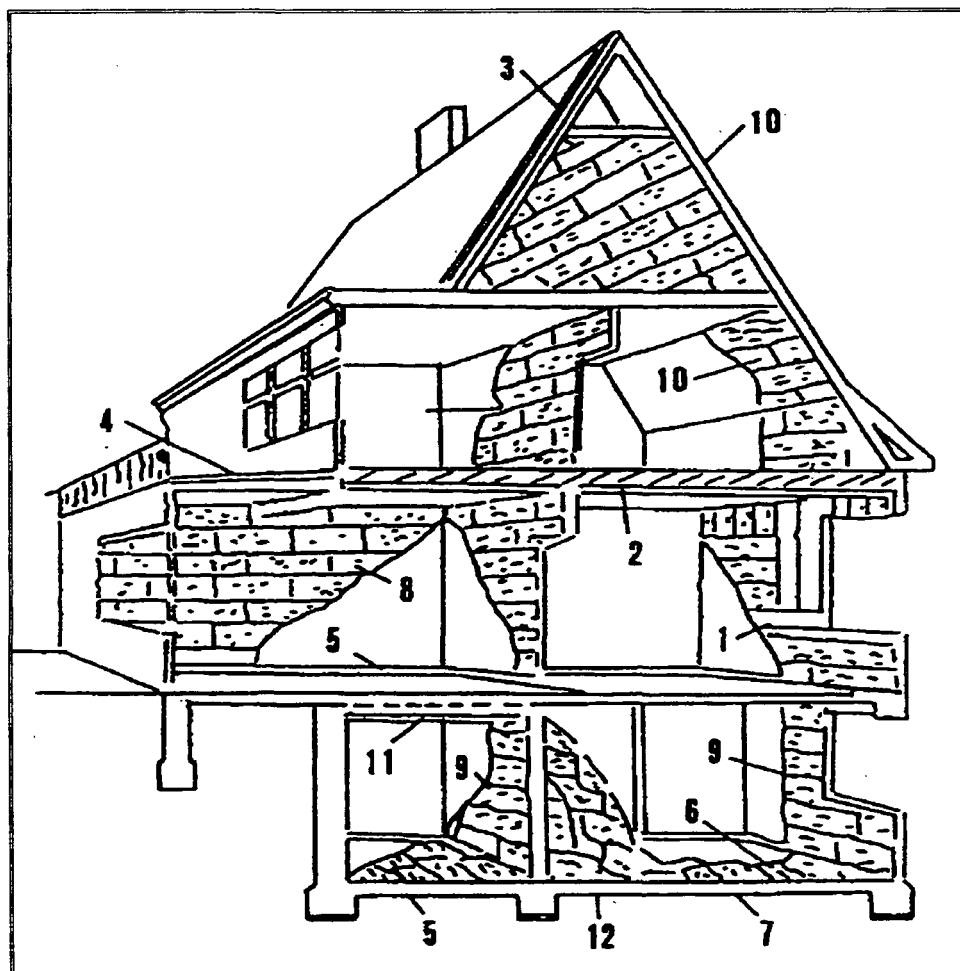
um material ideal para uso tanto exterior como interior em construções civis (figura 12).

Segundo CHAPOLA (1989), a aplicação dos painéis de cimento-madeira, vai além dos usos indicados para o aglomerado convencional, especialmente em ambientes úmidos e com riscos de incêndios, onde o emprego de aglomerados convencionais se torna inadequado.

ROSCELLI (1989) destaca que os painéis de cimento-madeira são muito versáteis. Esse painel é relativamente resistente, de peso leve, resistente ao fogo e umidade. Segundo o autor, esse painel já foi comparado com uma grande variedade de produtos. Destes podem se destacar, painéis à base de madeira, tais como, compensados, chapas de média densidade e o aglomerado à base de uréia-formaldeído. Além destes, podem ser enumerados ainda, os painéis de fibrocimento, chapas de gesso e blocos de concreto. Dados sobre propriedades mecânicas (resistência à compressão, dureza e resistência à flexão), resistência à umidade, resistência à abrasão, trabalhabilidade, estabilidade dimensional, etc., foram comparados entre esses produtos e os resultados indicam que os painéis de cimento-madeira apresentam grandes potencialidades de mercado.

DIX (1989) destaca o uso para paredes de casas pré-fabricadas, bancadas (para-peito), pisos, revestimento de túneis, paredes divisórias, paredes isolantes térmico e acústico, portas corta fogo, forros de casas, etc. A sua utilização não abrange somente residências, mas também pavilhões, estádios e edifícios públicos, estando presentes em banheiros, lavanderias, cozinhas, etc. A figura 12 ilustra a possibilidade de uso das chapas de cimento-madeira em residência.

FIGURA 12 – POSSIBILIDADES DE USO PARA OS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA



Fonte: VALENZUELA (1989)

1. Isolante térmico e acústico;
2. Forro pregado sobre madeira;
3. Telhado sobre tesoura de madeira;
4. Isolante térmico e acústico de construções de concreto;
5. Isolante acústico entre o concreto e a laje de acabamento;
6. Isolante acústico entre o concreto e o azulejo;
7. Paredes internas sobre estrutura de madeira;
8. Paredes externas sobre estrutura de madeira;
9. Isolante térmico entre o interior e o exterior;
10. Forração interna sobre a tesoura;
11. Forro;
12. Parede interna pregada a alvenaria.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

3.1.1 MADEIRA

As espécies utilizadas nesta pesquisa foram procedentes de um reflorestamento da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) localizado no município de Seropédica, RJ. Quatro espécies do gênero *Eucalyptus*, apresentadas na tabela 3, foram selecionadas para serem submetidas a ensaios tecnológicos, descritos a seguir, com o propósito de se avaliar a potencialidade do uso, de cada uma delas, como agregado na manufatura de painéis de cimento-madeira.

TABELA 3 - RELAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

EFC ¹	CÓDIGO ²	ESPÉCIES	FAMÍLIA
8916	Sp ₁	<i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell	Myrtaceae
8914	Sp ₂	<i>Eucalyptus robusta</i> Sm.	Myrtaceae
8917	Sp ₃	<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake	Myrtaceae
8915	Sp ₄	<i>Eucalyptus citriodora</i> Hook	Myrtaceae

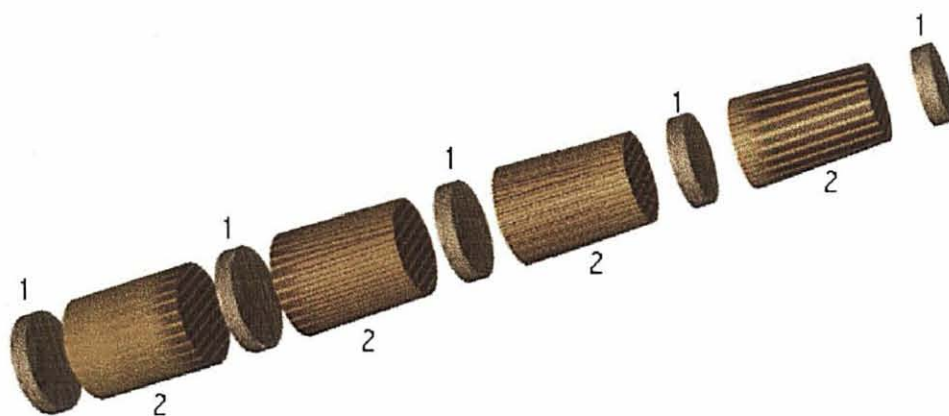
2 - N^o do registro no Herbário da Escola de Florestas da UFPR; 2 - Código utilizado, a seguir, no texto da tese

A implantação do reflorestamento, para as espécies, foi realizado no ano de 1992 com um espaçamento de 3 x 2 m e o diâmetro médio à altura do peito (DAP) encontrava-se em torno de 15 cm quando se realizou a coleta.

Foram coletadas, aleatoriamente, três árvores para cada espécie selecionada. Estas árvores foram seccionadas proporcionalmente à altura total do fuste de modo

que se obtivessem quatro toras (figura 13, nº 2). Das porções base, 25%, 50%, 75% e topo de cada árvore, foram extraídas seções de aproximadamente 30 cm de espessura, que foram destinadas as análises física (massa específica), química, termometria e compressão em corpos-de-prova cilíndricos (Figura 13, nº 1). As toras foram então encaminhadas ao laboratório de painéis do Instituto de Florestas da UFRRJ para se proceder a sua conversão em partículas destinadas à manufatura dos painéis de cimento-madeira.

FIGURA 13 – DESENHO ESQUEMÁTICO REPRESENTANDO O CORTE DAS TORAS



- 1** Seções extraídas para realização de análises físicas, químicas, termometria e compressão em corpos-de-prova cilíndricos;
- 2** Toras destinadas à produção de partículas.

Foi ainda coletado no campo, material botânico (folhas, ramos, frutos e sementes) de cada árvore e montadas exsicatas. Estas, foram remetidas ao Laboratório de Dendrologia, do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná e foram registradas sob os números apresentados na Tabela 1(EFC).

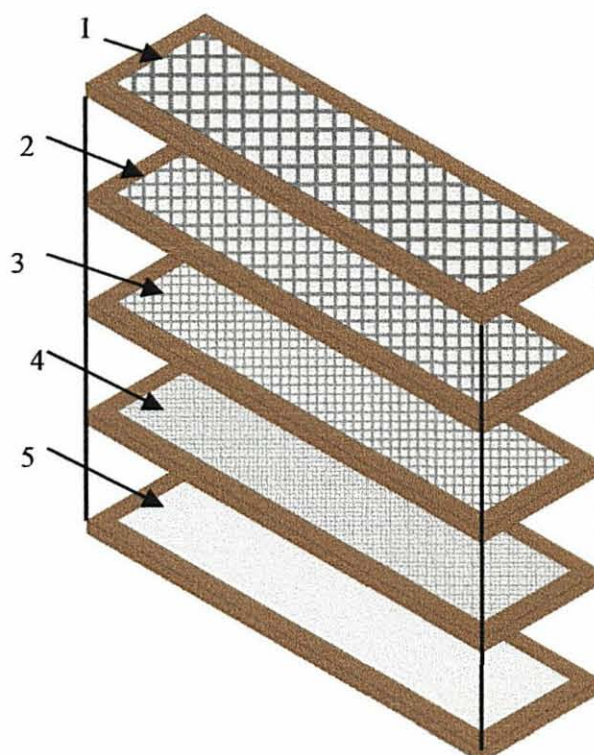
A transformação de madeira sólida em partículas foi realizada através do emprego de moinho de martelo. Inicialmente as toras foram descascadas e reduzidas em seções (discos) de aproximadamente 3 cm de espessura, inclusive aquelas seções destinadas às análises físicas, químicas, de termometria e compressão. Destes discos foram extraídos cavacos com dimensões aproximadas de 0,5 x 3 x 10 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente. Antes de serem moídos, estes cavacos foram ainda transformados mecanicamente na forma de "palitos" com dimensões de 0,5 x 1 x 3 cm. Após a moagem, as partículas foram acondicionadas ao ar livre até que atingissem um teor de umidade de equilíbrio com o ambiente.

As partículas de cada espécie foram homogeneizadas e classificadas em uma sequência de quatro peneiras para a seleção da granulometria de partículas a ser estudada. Essa sequência é apresentada na figura 14.

As partículas selecionadas foram aquelas que passaram pela peneira de 4,37 mm de abertura e ficaram retidas na de 2,08 mm, partículas que passaram na de 2,08 mm e ficaram retidas na de 1,00 mm, partículas que passaram na peneira de 1,00 mm e ficaram retidas na de 0,61 e, as partículas que passaram pela peneira de 0,61 mm (finos).

Após a sua classificação, as partículas foram armazenadas e acondicionadas em câmara climática a uma temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e a $65 \pm 5\%$ de umidade relativa, até a sua utilização nas análises e ensaios.

FIGURA 14 - SEQUÊNCIA DE MALHAS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS PARTÍCULAS



- 1 Peneira de 4,37 mm de abertura;
- 2 peneira de 2,08 mm de abertura;
- 3 peneira de 1,00 mm de abertura;
- 4 peneira de 0,61 mm de abertura;
- 5 depósito de finos.

3.1.2 AGLOMERANTE

O aglomerante empregado foi de origem hidráulica, designado cimento Portland. Quatro tipos de cimento comumente encontrados no comércio varejista foram selecionados em função da sua composição. Esses quatro tipos foram: CP II F 32, CP II E 32, CP III 32 e o CP V ARI PLUS. O cimento CP II F 32 pela Norma Brasileira NBR 11578 (1990) significa cimento Portland composto com adição de fíler calcário (material carbonático) da classe de resistência à compressão 32 e o cimento

CP II E 32, de acordo com a mesma Norma, significa cimento Portland composto com adição de escória da classe de resistência 32. De acordo com a Norma Brasileira NBR 5735 (1990) o cimento CP III 32 significa cimento Portland de alto-forno de classe de resistência 32, enquanto que o cimento ARI pela Norma Brasileira NBR 5733 (1990) significa cimento Portland de alta resistência inicial (34 MPa aos 7 dias de idade). A classe representa a resistência à compressão em MPa que o aglomerante atinge aos 28 dias de idade.

Após a sua aquisição, os sacos de 50 kg de cimento foram embalados em sacos plásticos com o propósito de não absorverem água, evitando assim um possível início da reação de hidratação.

3.1.3 ÁGUA

No processo industrial normalmente se utiliza água fornecida pela distribuição ou rede de fornecimento estatal ou privado. Porém, de acordo com resultados encontrados por VALENZUELA (1989), essa água apresenta certas substâncias, como por exemplo cloro, que podem reagir com o cimento acelerando o seu endurecimento. Em sua pesquisa, o referido autor encontrou diferenças estatísticas significativas nos resultados de temperatura de hidratação e resistência à compressão entre a água normal (água da rede de fornecimento) e a água destilada. Devido às constantes alterações da qualidade da água das cidades brasileiras, optou-se pelo emprego de água destilada com propósito de eliminar qualquer possibilidade de influência deste componente sobre os resultados desta pesquisa.

3.1.4 ADITIVOS QUÍMICOS

Foram empregados quatro tipos de aceleradores, ou seja, aditivos químicos utilizados com a função de reduzir o tempo total de pega e endurecimento da mistura cimento-madeira-água. Tais aceleradores foram: cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cloreto de magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), silicato de sódio (Na_2SiO_3) e sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Testou-se ainda a adição de um aditivo mineral denominado microssílica.

3.2 ANÁLISES FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA

3.2.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

Os discos extraídos de cada uma das cinco seções das árvores foram destinados à determinação da massa específica básica, obtendo-se assim uma média para cada espécie. O conhecimento desses valores é importante uma vez que a quantidade de madeira em um painel está relacionada diretamente ao seu peso.

3.2.2 ANÁLISES QUÍMICAS

Para realização das análises químicas foi utilizado material extraído de cada uma das cinco seções de cada árvore. Após homogeneizados, os cavacos passaram por um moinho de martelo para obtenção da serragem. Utilizou-se para a classificação da mesma, peneiras metálicas com malhas conhecidas e agitadores

mecânicos. O material selecionado para as análises foi aquele retirado da fração 40/60, ou seja, fração de serragem que atravessa a peneira de 40 mesh e fica retida na peneira de 60 mesh. Esse material foi acondicionado em ambiente climatizado com $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ de temperatura e a $65 \pm 1\%$ de umidade relativa.

Amostras de cada espécie foram preparadas para a determinação relativa das substâncias químicas presentes na madeira, especialmente os extrativos. Assim determinou-se os extrativos totais, solúveis em água quente e fria, solúveis em NaOH (1%), solúveis em álcool+benzeno e solúveis em álcool à 95%.

3.3 TERMOMETRIA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Alguns métodos têm sido empregados para avaliar a aptidão de materiais ligno-celulósicos para o emprego em painéis de cimento-madeira. Destes se destacam: o estudo da evolução da temperatura de hidratação do cimento (termometria) combinado com algum tipo de agregado, seja ele a madeira ou não e, a resistência à compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos.

Como se sabe, o cimento em contato com a água hidrata-se e reage liberando calor. O monitoramento da temperatura dessa reação é usado como parâmetro para se determinar índices de inibição da pega ou endurecimento do cimento proporcionado pelo agregado utilizado. Desta forma, este ensaio consiste em mensurar, de forma sistemática, a evolução da temperatura da mistura cimento-madeira-água durante certo período de tempo.

Partindo desse princípio, empregou-se nesta pesquisa este ensaio para avaliar não só a aptidão ao uso das quatro espécies de eucalipto, mas também para

se determinar qual o tipo de cimento ideal dentre os quatro previamente selecionados, a granulometria de partículas menos inibitória à pega do cimento e, a influência na temperatura e tempo de hidratação devido à adição de aceleradores de pega (aditivos químicos e mineral) à mistura cimento-madeira-água. Estas análises são descritas detalhadamente a seguir.

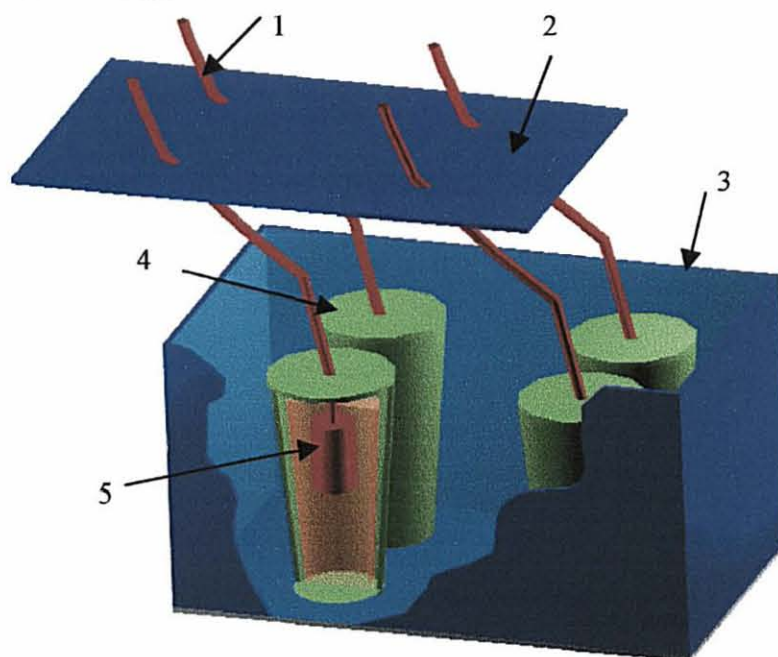
Para mensuração da temperatura foram utilizados cabos de termopares tipo “J” conectados a um módulo condicionador de sinais analógicos acoplado a uma placa de conversão analógica-digital instalada em um microcomputador PENTIUM 166, onde os dados gerados eram armazenados e processados. As leituras de temperaturas em cada cabo conectado eram realizadas em intervalos de um minuto, durante um tempo total de 24 horas.

Um sistema hermeticamente fechado foi projetado para se colocar a mistura cimento-madeira-água e acoplar o cabo do termopar, de modo que o calor obtido da reação exotérmica do cimento não se dissipasse no ambiente. Adaptou-se quatro frascos Dewar com capacidade de 1 litro no interior de uma caixa térmica, totalmente isolada por lã de vidro (figura 15). Cada cabo atravessava a tampa da caixa e também a tampa de cada frasco através de perfurações igual ao seu diâmetro.

O cimento, a água e as partículas eram misturados em um saco plástico (15 x 30 cm), onde o tempo decorrido para mistura total desses componentes não excedia a cinco minutos. A seguir, o instrumento de medição de temperatura (termopar) era inserido no saco, o qual foi fechado e envolvido com uma folha de alumínio. O saco já com o cabo conectado era assim colocado dentro do frasco Dewar onde este e a caixa térmica eram fechados hermeticamente. A partir daí dava-se o início da aquisição dos sinais. Como a caixa térmica continha quatro frascos, cada um deles

com um cabo termopar conectado na placa de conversão analógica-digital, todo ensaio de termometria, desta forma, apresentava um número de quatro repetições.

FIGURA 15 - ESQUEMA DEMONSTRANDO O SISTEMA UTILIZADO PARA SE COLOCAR AS AMOSTRAS DA MISTURA CIMENTO-MADEIRA-ÁGUA PARA MEDIÇÃO DAS TEMPERATURAS E TEMPO DE HIDRATAÇÃO.



- 1 Cabo do termopar
- 2 Tampa da caixa térmica
- 3 Caixa térmica
- 4 Frascos Dewar
- 5 Mistura cimento-madeira

O sistema de aquisição dos dados, bem como a caixa térmica com os quatro frascos foram instalados dentro de uma câmara climática com temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$.

A quantidade de cimento e partículas de madeira absolutamente seca eram 200 g e 15 g respectivamente, mantendo-se assim uma relação madeira:cimento de 1:13,33. Para o cálculo da água necessária utilizou-se a equação 4 sugerida por

SOUZA (1994), apresentada abaixo. A relação água:cimento empregada foi de 43% de água com base no peso do cimento.

$$\text{ÁGUA (g)} = \text{relação água : cimento} \times \text{cimento(g)} + \left[\text{madeira} \times \left(0,3 - \frac{\text{umidade da madeira (\%)}}{100} \right) \right] \quad [4]$$

Concomitante ao ensaio de termometria, foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos. Esse ensaio foi utilizado como parâmetro para também se determinar a aptidão ao uso das quatro espécies de eucalipto, o tipo de cimento ideal, a granulometria de partículas mais indicada e a influência dos aditivos químicos à resistência mecânica (compressão axial) da mistura cimento-madeira-água.

Os procedimentos dos ensaios de compressão foram adaptados da Norma Brasileira NBR 7215 (1996). A quantidade de cada componente (cimento, madeira e água), para a confecção de 4 corpos de prova foram:

↳ Cimento = 1200 g

↳ Partículas de madeira (absolutamente seca) = 90 g

↳ Água = determinada através do mesmo procedimento adotado na termometria

As partículas, o cimento e a água já devidamente pesados foram misturados em um misturador mecânico que continha uma pá de metal que girava a duas velocidades (baixa e alta) e uma cuba de aço inoxidável com capacidade aproximada de 5 litros. Inicialmente adicionou-se as partículas e a água e em seguida foi adicionado o cimento. Neste momento a pá de metal do misturador girava a uma velocidade baixa (140 ± 5 rpm) por um período de 1 minuto. Após esse tempo, desligou-se o misturador por um período aproximado de 30 segundos. Nesse

tempo retirou-se da parede da cuba e da pá do misturador, com o auxílio de uma espátula, os componentes que ali ficaram aderidos e que não foram suficientemente misturados. Imediatamente após, ligou-se o misturador com o giro da pá em velocidade alta (285 ± 10 rpm), mantendo-se a mistura dos componentes nesta velocidade por mais 1 minuto.

Após a mistura dos componentes foi realizada a moldagem dos corpos de prova. O molde era composto de uma forma cilíndrica e base rosqueada, ambas de metal não corrosivo. A forma utilizada tinha 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. A superfície interna da forma era lisa e sem defeitos e, a mesma tinha um dispositivo lateral que assegurava a sua abertura e fechamento, que facilitava a retirada do corpo-de-prova.

Para a colocação da mistura em seu interior, a superfície do molde era untada com uma leve camada de óleo mineral de baixa viscosidade. Antes porém, para se garantir a estanqueidade, passava-se na abertura lateral (fenda) da forma um material de vedação, apertando-se em seguida o dispositivo de fechamento.

A moldagem dos corpos-de-prova era realizada imediatamente após a mistura dos componentes. A colocação dessa mistura no interior da forma dava-se em três camadas de altura aproximadamente iguais com o auxílio de uma espátula. Cada camada recebia 30 golpes uniformes com um soquete manual ou batidas do fundo da forma contra uma bancada com base emborrachada. Esta operação terminava com a rasadura do topo do corpo-de-prova por meio de uma régua que deslizava sobre as bordas da forma.

Após moldados, os corpos-de-prova foram submetidos a uma cura simples (temperatura e umidade ambiente) por um período de 24 horas, quando então os mesmos eram ensaiados.

Momento antes de ser ensaiado, cada corpo-de-prova para o ensaio de compressão axial era capeado com enxofre. Este procedimento era realizado com o propósito de manter a superfície transversal do corpo-de-prova perfeitamente plana para que ocorresse uma melhor acomodação entre esta superfície e a do prato da máquina universal.

A determinação da resistência à compressão axial foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\Rightarrow CA = \frac{P}{A} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad [5]$$

onde:

Ca = Compressão axial (kgf/cm²)

P = Carga de ruptura (kgf)

A = Área da seção do corpo de prova (cm²)

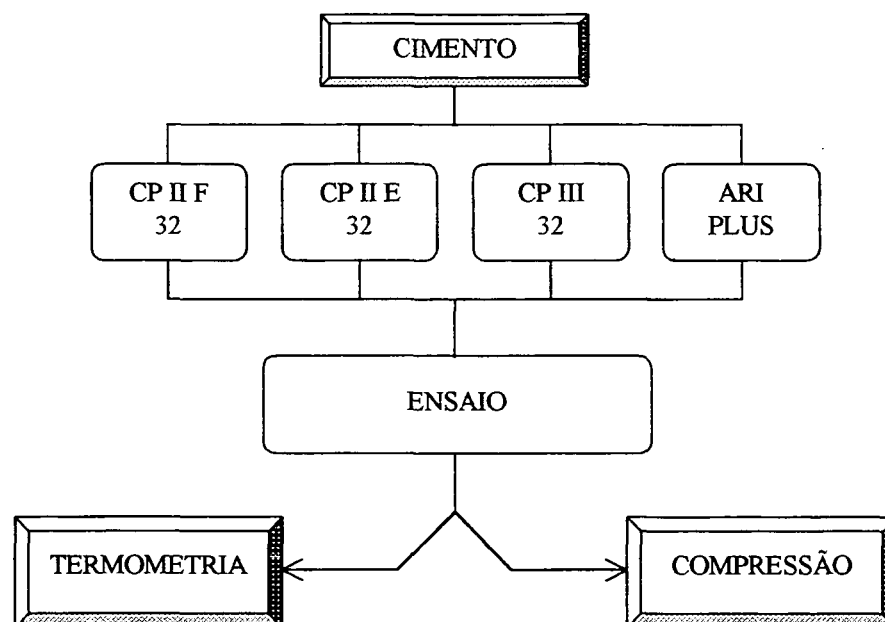
A velocidade de carregamento da carga na máquina de ensaios universal (EMIC) foi a estabelecida pela norma NBR 7215 (1996).

3.3.1 ESTUDO DO TIPO DE CIMENTO

Segundo LARSON, citado por MUSOKOTWANE (1982), para evitar danos devido ao calor excessivo, a composição do cimento é usualmente alterada, de tal forma que os constituintes produtores de calor estejam presentes em menor teor. O

contrário disto, de acordo com o mesmo autor, seria desejado na produção de chapas cimento-madeira, onde a rápida solidificação é desejável. Por esta razão, tipos de cimento que liberam grandes quantidades de calor são preferidos. Desta forma, esta análise foi realizada com propósito de identificar qual dos quatro tipos de cimento, previamente selecionados, apresentava maior elevação de temperatura em menor tempo, bem como aquele que proporcionasse maior resistência. A figura 16 mostra o delineamento desta análise.

FIGURA 16 - DELINEAMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TIPO DE CIMENTO



Cada tipo de cimento foi misturado com uma quantidade de água de 25% com base no peso do cimento. Como já descrito anteriormente utilizou-se 200 g e 1200 g no ensaio de termometria e resistência à compressão axial respectivamente. O tipo de cimento que apresentou a maior resistência à compressão axial e a maior elevação de temperatura de hidratação em menor tempo foi aquele escolhido como

o mais apropriado. Portanto esse tipo de cimento foi aquele utilizado nas análises posteriores, descartando-se assim os outros três.

Os resultados da termometria (tempo e temperatura de hidratação) e dos ensaios de compressão axial foram analisados estatisticamente através da análise de variância - ANOVA. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey todas as vezes que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

3.3.2 ESTUDO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS

Inicialmente foram utilizados quatro tipos de granulometrias de partículas, para cada espécie. Estas foram preparadas para se investigar a sua influência sobre a hidratação (tempo e temperatura) e a resistência à compressão da mistura cimento-madeira-água. Após estudos prévios, buscou-se também empregar uma combinação de partículas, de modo que se pudesse aumentar o aproveitamento das mesmas. Assim sendo, cinco composições foram testadas (tabela 4).

TABELA 4 - COMPOSIÇÕES GRANULOMÉTRICAS PESQUISADAS

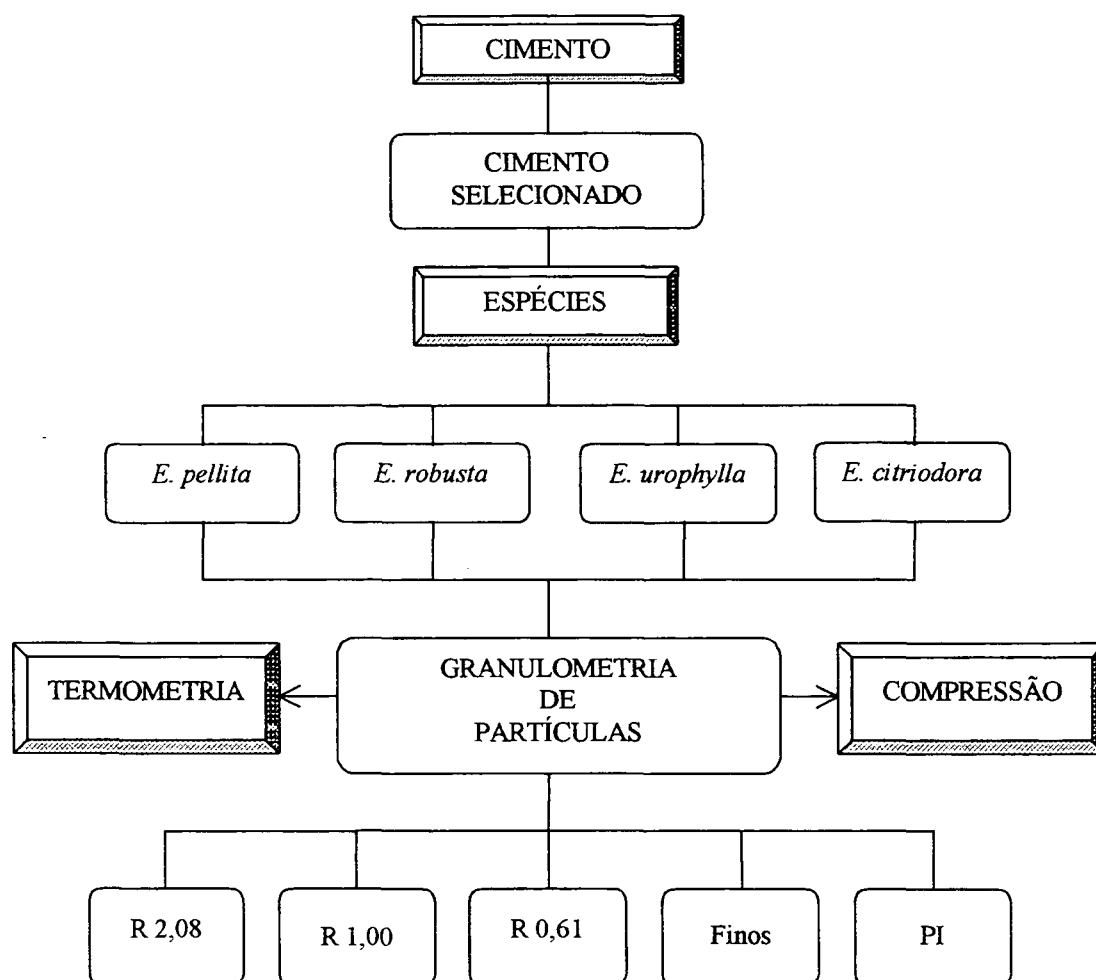
PENEIRA (mm)	COMPOSIÇÃO (%)				
	1	2	3	4	5
2,08	100	-	-	-	-
1,00	-	100	-	-	50
0,61	-	-	100	-	50
FINOS	-	-	-	100	-
TOTAL (%)	100	100	100	100	100

A composição número um é composta de 100% de partículas que passaram pela peneira de 4,21 mm de abertura e ficaram retidas na de 2,08 mm de abertura (doravante citada como R2,08). A composição dois é composta de 100% de partículas que passaram pela peneira de 2,08 mm de abertura e ficaram retidas na de 1,00 mm de abertura (doravante citada como R1,00). A terceira composição é composta de 100% de partículas que passaram pela peneira de 1,00 mm de abertura e ficaram retidas na de 0,61 mm de abertura (doravante citada como R0,61). A quarta composição é composta de 100% de partículas que passaram pela peneira de 0,61 mm de abertura (doravante citada como finos). A composição cinco é composta de proporções iguais das duas peneiras intermediárias (doravante citada como PI).

Através da figura 17, pode-se observar o delineamento experimental programado para esta análise. Para cada espécie selecionou-se uma das cinco composições. A composição escolhida ou selecionada para ser utilizada nas análises posteriores, foi aquela que apresentou o menor índice de inibição, maior temperatura em menor tempo de hidratação, e ainda, a que obteve maior resistência à compressão axial.

O índice de inibição foi obtido utilizando-se a equação matemática 3 (item 2.2.1) utilizada por HOFSTRAND *et. al.* (1984) e MOSLEMI & LIM (1984). A temperatura máxima e o tempo para se atingir essa temperatura empregados nessa equação foram obtidos da média de quatro medições realizadas durante o estudo do tipo de cimento (item 3.3.1). Os valores empregados foram aqueles obtidos para o tipo de cimento selecionado na análise anterior.

FIGURA 17 - ESQUEMA GERAL DO ESTUDO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS



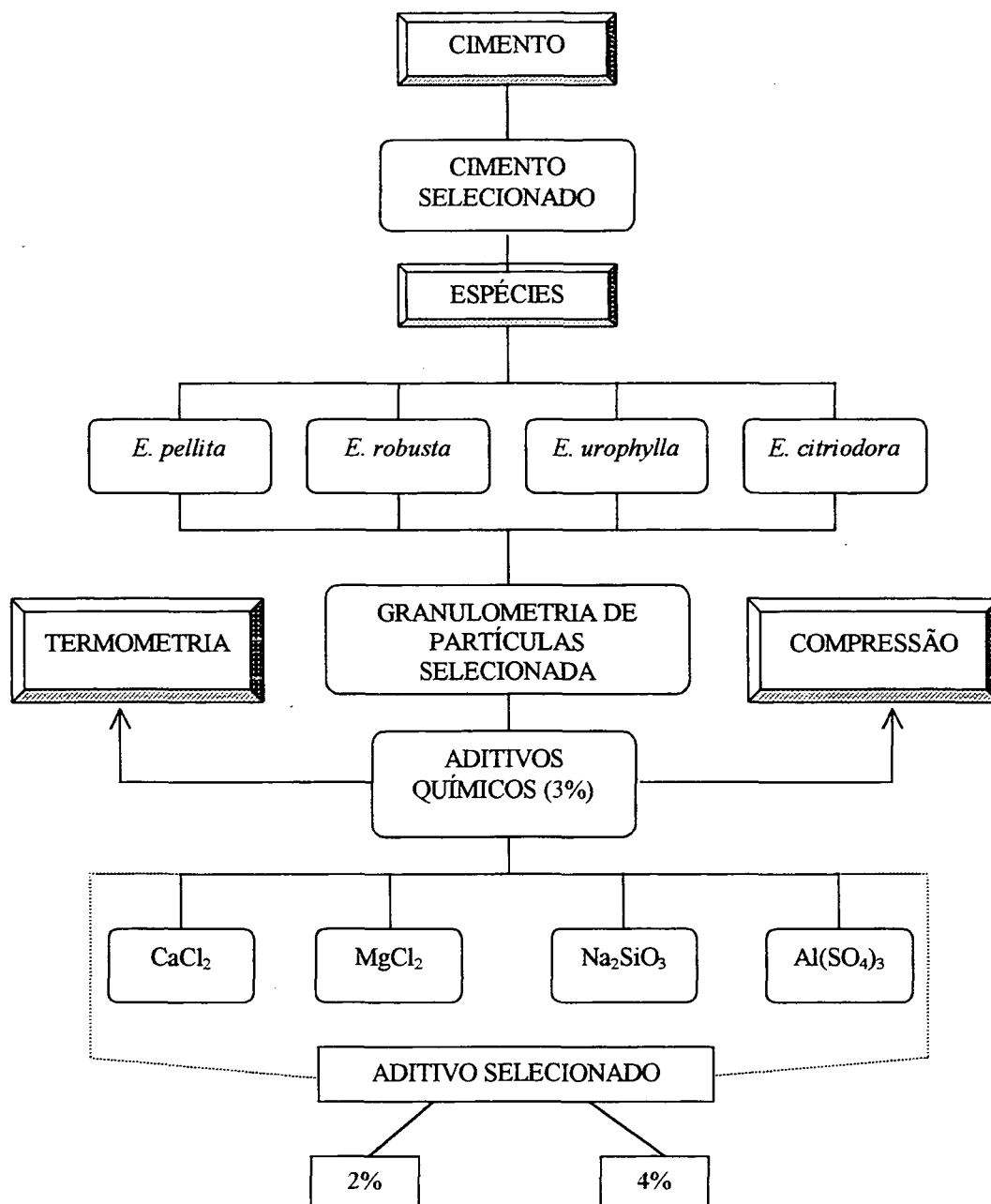
Os resultados obtidos dos índices de inibição, temperatura e tempo de hidratação e, de compressão axial foram analisados estatisticamente através da análise de variância e, as médias comparadas pelo teste de Tukey todas as vezes que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

3.3.3 ESTUDO DOS ADITIVOS QUÍMICOS

Utilizou-se neste estudo, quatro aditivos químicos, descritos na figura 18, para se avaliar o efeito de cada um deles no aumento da resistência à compressão axial

de cada espécie estudada e, no incremento de temperatura de hidratação a um menor tempo possível.

FIGURA 18 - ESQUEMA GERAL DO ESTUDO DOS ADITIVOS QUÍMICOS ACELERADORES



Para a comparação entre quatro aditivos químicos foi utilizada uma quantidade em massa de 3% com base no peso do cimento. Uma segunda série de

ensaios foi realizada com o aditivo químico considerado como mais adequado. O propósito disto foi determinar a quantidade ideal deste. Assim, duas outras proporções (2% e 4%) foram investigadas e os dados obtidos foram confrontados juntamente com os obtidos da concentração 3%. Com base nos resultados obtidos da temperatura máxima de hidratação, tempo mínimo requerido para que essa temperatura fosse atingida e, da resistência à compressão axial, estabeleceu-se a concentração empregada nas próximas análises.

Análise de variância foi realizada para se analisar estatisticamente os dados de temperatura e tempo de hidratação e resistência à compressão axial. O teste Tukey foi realizado para comparação entre médias todas as vezes que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

Adicionalmente, foi ainda utilizado um aditivo mineral, denominado de microssílica. Verificou-se também a sua influência sobre a termometria (temperatura e tempo de hidratação) e resistência à compressão axial em cada espécie estudada. O delineamento estatístico é apresentado na Tabela 5.

Microssílica, a uma quantidade de 10% com base no peso do cimento, foi combinada com as partículas de madeira selecionada com e sem a presença do aditivo químicos elecionado. Os dados obtidos da termometria (temperatura e tempo de hidratação) e resistência à compressão axial foram comparados entre si e também com os dados obtidos da partícula ideal combinada ou não com o aditivo químico selecionado.

Análise de variância foi empregada para se analisar estatisticamente os dados obtidos de temperatura e tempo de hidratação e resistência à compressão

axial. O teste Tukey foi realizado para comparação entre médias todas as vezes que a hipótese da nulidade foi rejeitada.

TABELA 5 - DELINEAMENTO ESTATÍSTICO EMPREGADO NO ESTUDO DA ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA

ESPÉCIE	TIPO DE PARTÍCULA	ADITIVO QUÍMICO	MICROSSÍLICA (MS)
<i>E. pellita</i>	Selecionada	Sem aditivo	MS (10%)
		Selecionado	Sem MS MS (10%)
<i>E. robusta</i>	Selecionada	Sem aditivo	MS (10%)
		Selecionado	Sem MS MS (10%)
<i>E. urophylla</i>	Selecionada	Sem aditivo	MS (10%)
		Selecionado	Sem MS MS (10%)
<i>E. citriodora</i>	Selecionada	Sem aditivo	MS (10%)
		Selecionado	Sem MS MS (10%)

3.3.4 ESTUDO DA APTIDÃO DAS ESPÉCIES

Após a realização dos ensaios anteriores, avaliou-se o comportamento das quatro espécies, cada uma combinada com o tipo de cimento selecionado com e sem a adição dos aditivos químico e mineral.

Até então pesquisou-se o comportamento das quatro espécies de eucalipto isoladamente. O confrontamento dos dados da termometria (temperatura, tempo e índices de inibição) e compressão permitiram avaliar se ocorreram diferenças de aptidão ao uso em chapas de cimento-madeira entre as quatro espécies. Também permitiu concluir se o uso de aditivos químicos tornou mais apta ao uso em chapas

minerais não só aquela espécie com maior índice de inibição, mas também a considerada mais adequada (menor índice de inibição).

3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS

3.4.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

No estudo das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de cimento-madeira o delineamento experimental foi dividido em duas fases. A primeira, visou confrontar os dados da termometria e compressão axial com os dados das propriedades físicas e mecânicas das chapas. A Segunda, consiste em curar as chapas sob as seguintes condições: em câmara climática ($20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 5\%$) e em câmara vaporizada (60°C). Todos o parâmetros intrínsecos, tais como, a massa específica dos painéis, relação madeira:cimento, relação água:cimento, prensagem, etc, estão descritos no item processo de manufatura dos painéis.

3.4.1.1 PRIMEIRA FASE

Como se sabe, alguns parâmetros empregados nas análises de termometria e compressão axial não são os mesmos empregados na fase de fabricação dos painéis. Um desses parâmetros é a relação madeira:cimento. Na termometria (principalmente) e compressão utiliza-se uma quantidade bem maior de cimento.

Assim sendo, esta primeira fase teve o objetivo de averiguar se a tendência dos resultados obtidos na termometria e compressão axial se refletem fidedignamente nas propriedades físicas e mecânicas das chapas, ou seja, se é realmente confiável utilizar os ensaios de termometria e compressão para se selecionar espécies, granulometrias de partículas e aditivos químicos. Para tanto, as análises foram divididas em três etapas, a saber:

- A. Estudo da granulometria de partículas;
- B. Estudo dos aditivos;
- C. Aptidão das espécies ao uso em chapas de cimento-madeira.

Nesta fase, todos os painéis, após serem desgrampeados (24 h depois do início da prensagem), foram acondicionados em câmara climática com temperatura e umidade relativa controladas ($20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 5\%$).

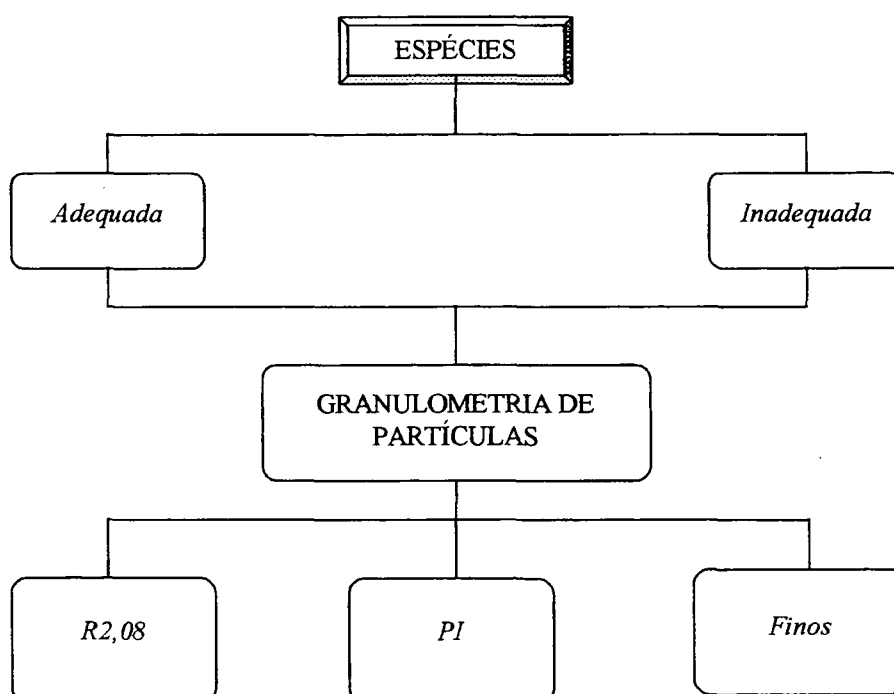
A. Estudo da granulometria de partículas

Na termometria e compressão axial buscou-se identificar, para cada espécie, qual a granulometria mais adequada ao uso de acordo com os resultados obtidos. Assim, utilizou-se as partículas maiores (R2,08), as intermediárias (PI) e as menores (finos) de duas espécies nas quais foram consideradas como adequada e inadequada (Figura 19).

Nota-se que foram selecionadas três granulometrias de partículas, e não as cinco anteriormente estudadas. Essa opção foi empregada uma vez que os resultados das análises anteriores indicaram que praticamente não existiram diferenças significativas entre as granulometrias R1,00, R0,61 e PI. O uso de duas espécies, visou verificar se a tendência ocorrida na termometria e compressão axial,

para o estudo de granulometria, repetia-se nas propriedades das chapas, mesmo quando se utilizaram espécies com comportamento diferenciado. A combinação de duas espécies e três granulometrias de partículas geraram seis tratamentos.

FIGURA 19 - DELINEAMENTO PARA O ESTUDO DO EFEITO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS SOBRE AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA

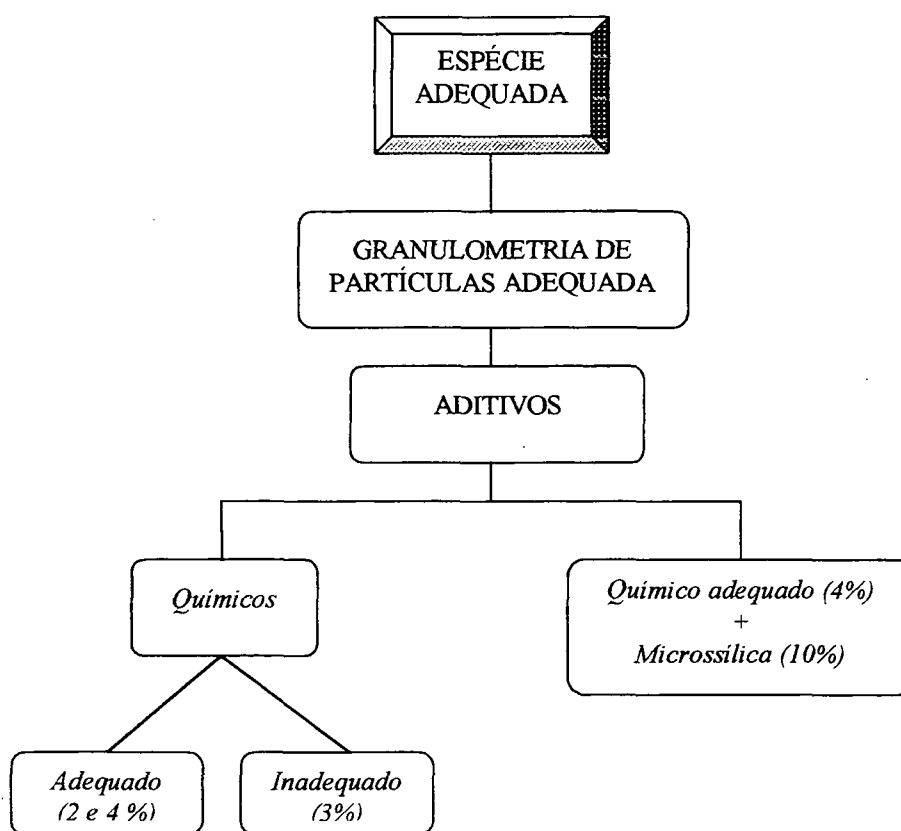


B. Estudo dos aditivos

Durante a comparação entre os aditivos químicos, na termometria e compressão, todos os quatro foram adicionados a uma quantidade referente a 3% com base no peso do cimento. Somente o aditivo considerado como o mais adequado foi submetido a duas outras variações relativas (2% e 4%). De acordo com a figura 20, nota-se que foram selecionados os aditivos com melhor e pior desempenho. Assim, nesta etapa, a quantidade de aditivo incorporada à mistura cimento-madeira foi a de 2 e 4% para o aditivo adequado e 3% para o inadequado.

Como nesta etapa o propósito é confrontar os dados de termometria e compressão com as propriedades físicas e mecânicas das chapas, foi necessário utilizar somente o percentual de 3% para o aditivo inadequado uma vez que esse aditivo químico não foi testado na termometria e compressão com um percentual diferente deste.

FIGURA 20 - DELINEAMENTO PARA O ESTUDO DO EFEITO DOS ADITIVOS QUÍMICOS E MINERAL SOBRE AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA



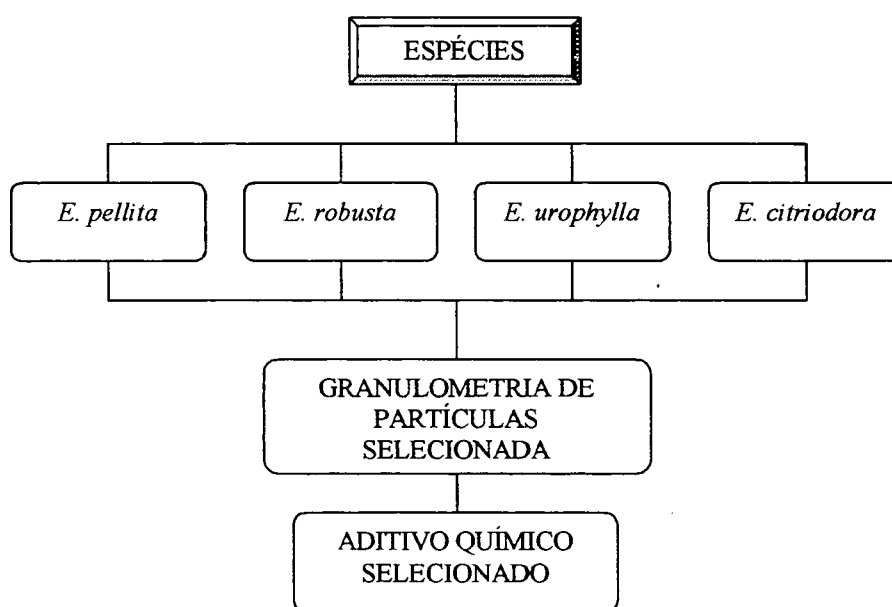
Nessa Figura 20, observa-se ainda mais dois aspectos. O primeiro é que somente uma espécie está sendo empregada com partículas de melhor granulometria e, segundo que aparece a microsílica combinada com um aditivo químico. Como se está avaliando o uso de aditivos, optou-se por empregar uma só espécie e, aquela considerada como a mais adequada. A microsílica também foi

testada na termometria e compressão, assim o seu emprego na produção de chapas torna-se interessante não só para confronto de dados, mas também para se avaliar até que ponto a sua presença, quando combinada com um aditivo químico, resulta em melhorias nas propriedades dos painéis. O percentual de microsilica utilizado foi de 10% e para o aditivo químico (adequado) 4%, todos calculados com base no peso do cimento.

C. Aptidão das espécies ao uso em chapas de cimento-madeira

Nesta etapa as quatro espécies de eucalipto foram utilizadas para a fabricação dos painéis. Tanto a granulometria de partículas quanto o aditivo químico e seu percentual empregados, foram aqueles considerados como o ideal, segundo a termometria, compressão axial e resultados das propriedades físicas e mecânicas das análises anteriores (figura 21).

FIGURA 21 - DELINEAMENTO PARA O ESTUDO DO EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA



3.4.1.2 SEGUNDA FASE

Objetivando obter um ganho de resistência e simular o processo industrial, dois processos de cura dos painéis foram aplicados neste estudo (tabela 6). No primeiro tipo, após a retirada dos grampos (24 h), os painéis simplesmente foram armazenados em uma câmara climática com temperatura e umidade relativa controladas ($20 \pm 3^\circ\text{C}$ e $65 \pm 1\%$) por períodos de 6, 13 e 27 dias, onde foram ensaiados os corpos-de-prova (T_6 , T_7 e T_8). No segundo, os painéis, logo após a retirada dos grampos, foram acondicionados em uma câmara vaporizada (Figura 22) com uma temperatura de 60°C , por períodos de 3, 10 e 24 dias.

TABELA 6 - DELINEAMENTO PARA O ESTUDO DO EFEITO DE TRATAMENTOS DE CURA SOBRE AS PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE CIMENTO-MADEIRA

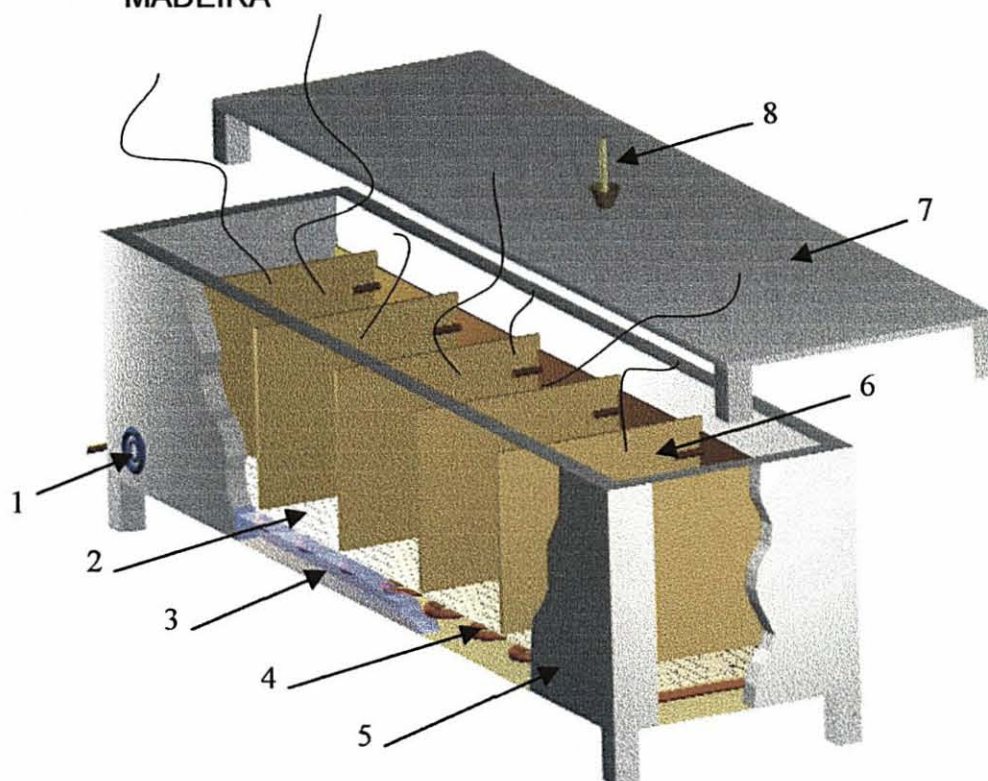
TRATAMENTO		PRENSAGEM	ACONDICIONAMENTO		ENSAIO	
			CÂMARA DE VAPORIZAÇÃO (60 °C)	CÂMARA CLIMÁTICA (20 °C e 65 %)		
			Período (h)	Período (dia)		Período (dia)
PROCESSO DE CURA	Tipo II	T1 V ₂₄ E ₂₈	24	24	03	28
		T2 V ₁₀ E ₂₈	24	10	17	28
		T3 V ₀₃ E ₂₈	24	03	24	28
		T4 V ₁₀ E ₁₄	24	10	03	14
		T5 V ₀₃ E ₀₇	24	03	03	07
	Tipo I	T6 V ₀₀ E ₂₈	24	00	27	28
		T7 V ₀₀ E ₁₄	24	00	13	14
		T8 V ₀₀ E ₀₇	24	00	06	07

V_n = dias de vaporização; E_n = N° dias para o ensaio

Para as chapas acondicionadas no período de três dias, os corpos-de-prova para ensaios físicos e mecânicos foram ensaiados no 7° e no 28° dia, a contar do dia da manufatura das mesmas. Para as chapas acondicionadas no período de dez

dias, os corpos-de-prova foram ensaiados no 14^o e no 28^o dia e, para as chapas acondicionadas no período de 24 dias, os corpos de corpos-de-prova foram ensaiados no 28^o dia (tabela 6). Após serem retirados da câmara de vaporização, os painéis passaram por uma secagem de três horas em estufa com ventilação de ar forçada a uma temperatura de 60 °C e, em seguida, foram levados para câmara climática completando o período de maturação. Assim sendo, em todos os tratamentos, os painéis encerraram seu período de maturação na câmara climática.

FIGURA 22 – TANQUE PARA CURA A VAPOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA



- 1 Termostato;
- 2 Placa perfurada para passagem do vapor de água;
- 3 Água envolvendo as serpentinas;
- 4 Serpentinhas;
- 5 Tanque para depósito dos painéis
- 6 Painéis de cimento-madeira;
- 7 Tampo de madeira do tanque

8 Termômetro.

3.4.2 MANUFATURA DOS PAINÉIS

O processo de conversão das toras em partículas foi o mesmo empregado para as análises apresentadas anteriormente. As partículas de cada espécie foram devidamente classificadas na mesma sequência de peneiras e acondicionadas sob as mesmas condições empregadas para as partículas utilizadas nas análises anteriores. A umidade de cada granulometria de partículas foi determinada pelo método gravimétrico.

Para a manufatura de cada chapa, procedeu-se inicialmente o cálculo de cada componente, ou seja, a madeira, o cimento, a água e o aditivo. A metodologia empregada é sugerida por SOUZA (1994) e utilizada por LATORRACA (1996).

Devidamente pesados, os componentes foram misturados em uma betoneira. Primeiramente introduziram-se as partículas de madeira e pulverizou-se lentamente a água com o aditivo químico diluído. Este procedimento, segundo VALENZUELA (1989), é necessário para se obter uma umidificação homogênea das partículas evitando-se assim a formação de embolamentos. Em seguida adicionou-se o cimento sobre as partículas umidificadas e deixou-se a betoneira funcionando por uns cinco minutos.

Retirada da betoneira, a massa de cada painel era devidamente pesada, separada e distribuída aleatoriamente na caixa formadora do colchão com as dimensões de 385 mm de largura e 505 mm de comprimento. Esta caixa era colocada sobre uma chapa de alumínio untada com óleo mineral de baixa

viscosidade para facilitar a retirada do painel após sua prensagem e grampeamento. Retirando-se a caixa, duas barras de ferro de 15 mm foram colocadas no sentido do comprimento do colchão para o controle da espessura final. Somente aí se sobrepôs a outra chapa de alumínio também untada com óleo.

Já carregada com o painel e os aparatos para o grampeamento, a prensa era fechada a uma pressão de 40 kg/cm^2 . Na prensagem a frio, aplicava-se e mantinha-se a pressão desejada até que os colchões atingissem a espessura dos separadores, para que então se efetivasse o grampeamento (figura 23). Logo em seguida a prensa era aberta e durante 24 horas ocorria a fase de restrição por grampeamento. Durante este período os painéis eram mantidos sob condições naturais de umidade e temperatura.

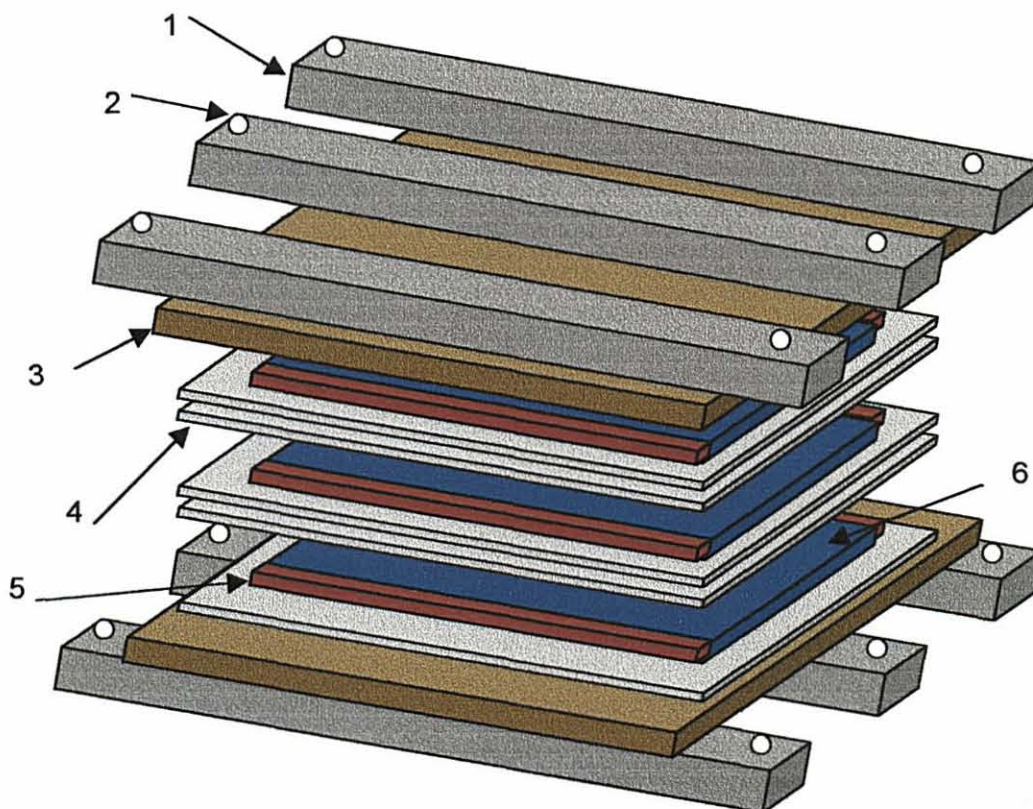
Após as 24 horas, os grampos eram retirados e as chapas enviadas para a marcenaria para retirada dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos. Em seguida os mesmos eram empilhados e mantidos em câmara de climatização a uma temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e a $65 \pm 5\%$ de umidade relativa, para maturação final. De acordo com o delineamento estatístico dois períodos de maturação foram investigados. Deste modo alguns painéis permaneciam na câmara até 3^o e 14^o dia após sua fabricação, enquanto outros permaneciam até 28 dias para serem ensaiados.

3.4.3 PARÂMETROS DOS PAINÉIS E DA PRENSAGEM

No estudo das propriedades dos painéis de cimento-madeira os seguintes parâmetros foram utilizados:

- ↳ Relação madeira:cimento $\Rightarrow 1:2,75$
- ↳ Relação água:cimento $\Rightarrow 1:2,32$
- ↳ Massa específica do painel $\Rightarrow 1,2 \text{ g/cm}^3$
- ↳ Dimensões do painel $\Rightarrow 38,5\text{cm}$ largura
 - $\Rightarrow 50,5\text{cm}$ comprimento
 - $\Rightarrow 1,5\text{cm}$ espessura
- ↳ Quantidade de painéis por tratamento $\Rightarrow 3$ unidades
- ↳ Parâmetros de prensagem \Rightarrow pressão = 40 kg/cm^2
 - \Rightarrow prensagem a frio
 - \Rightarrow tempo de grampeamento = 24 hs

FIGURA 23 - DETALHE DO ESQUEMA DO GRAMPEAMENTO DURANTE A PRENSAGEM DOS PAINÉIS



- 1 Barras de aço (7,5cm x 100cm x 2,5cm);
- 2 Perfurações por onde passam os parafusos
- 3 Chapa de aço = (47,5cm x 85cm x 0,5cm)
- 4 Chapa de alumínio = (47,5cm x 65cm x 0,25cm)
- 5 Barra de aço – separadores (1,5cm x 60,0cm x 1,5cm)
- 6 Painel de cimento-madeira (38,5cm x 50,5cm x 1,5cm)

3.4.4 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

O processo de obtenção dos corpos-de-prova foi realizado através do uso de uma serra circular comum. Inicialmente as chapas eram esquadrejadas, retirando-se cerca de 2 cm de cada extremidade. A distribuição dos corpos-de-prova em cada painel é apresentada na figura 24.

Para avaliação das propriedades dos painéis adotou-se os procedimentos recomendados pela norma americana ASTM D-1037 (1982) e a norma alemã DIN (1982). As propriedades avaliadas foram:

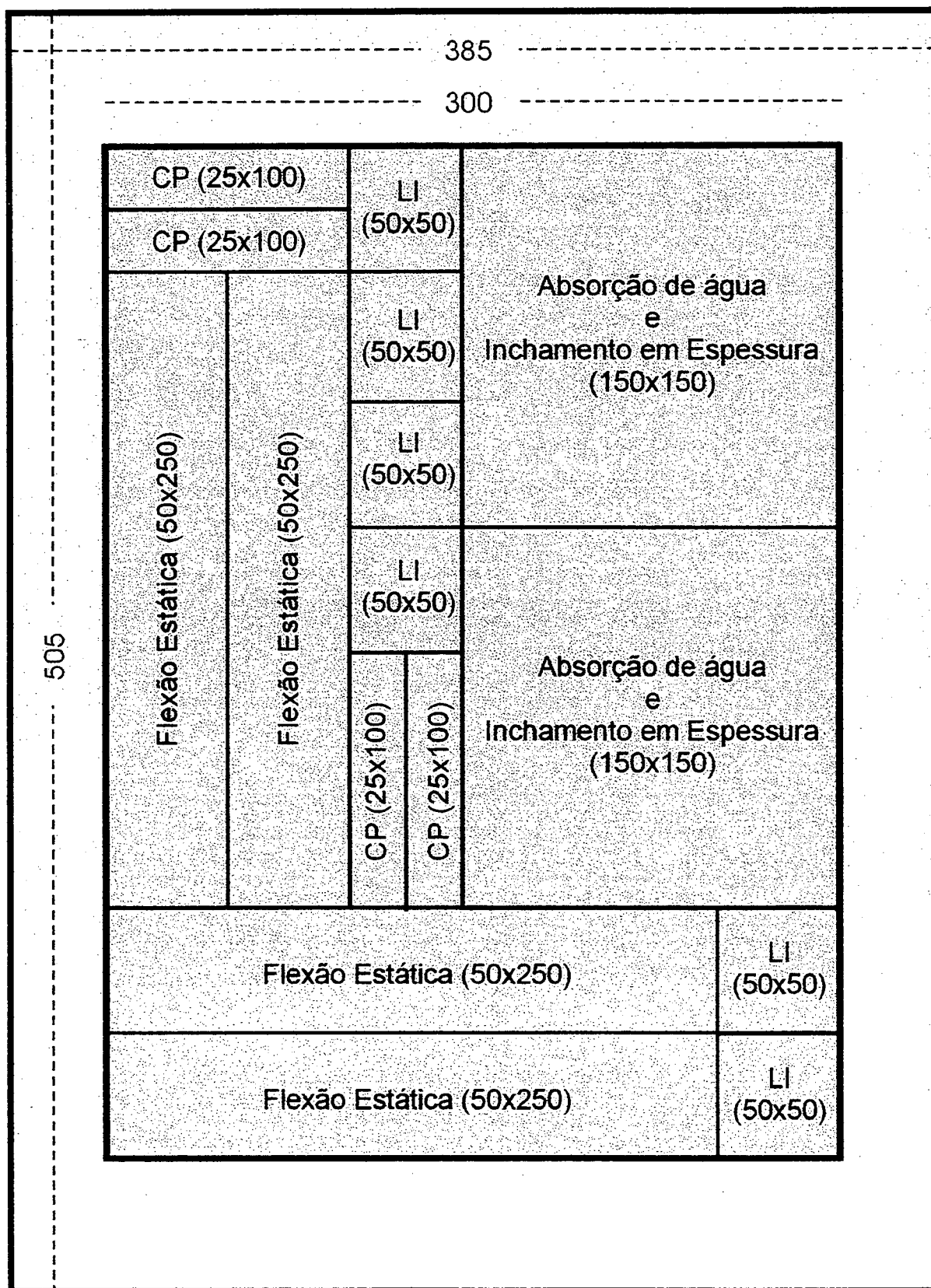
A. PROPRIEDADES MECÂNICAS:

- Flexão estática (MOE) ⇔ teste de acordo com a norma DIN 52362, 1982
- Flexão estática (MOR) ⇔ teste de acordo com a norma DIN 52362, 1982
- Compressão Paralela (CP) ⇔ Norma ASTM 1980:D1037-34.22
- Ligação interna (LI) ⇔ teste de acordo com a norma ASTM 1980:D1037-28

B. PROPRIEDADES FÍSICAS:

- Inchamento em Espessura ⇔ teste de acordo com a norma ASTM 1980:D1037-100
- Absorção d'água ⇔ teste de acordo com a norma ASTM 1980:D1037-100

FIGURA 24 - ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA NOS PAINÉIS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES (em mm).



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

Através da tabela 7 pode-se observar os resultados obtidos para massa específica básica das quatro espécies de eucalipto. Nota-se, como era esperado, que a densidade da espécie *Eucalyptus citriodora* é mais elevada e, *Eucalyptus robusta* a de menor valor. Estes resultados explicam a conformação do colchão para prensagem da espécie *Eucalyptus citriodora*. A altura do colchão era muito baixa, em função da relação massa/volume das partículas, resultando numa compactação menor do compósito. Esta, pode ser uma das razões de os resultados das chapas, para tal espécie, não terem sido satisfatórios.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE BÁSICA POR ESPÉCIE

ESPÉCIE	DENSIDADE BÁSICA (g/cm ³) [*]	CV (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	0,58 ^A	8,62
<i>Eucalyptus robusta</i>	0,55 ^A	12,73
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,58 ^A	8,62
<i>Eucalyptus citriodora</i>	0,69 ^B	4,35

* Letra diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade; CV = Coeficiente de variação

4.2 ANÁLISES QUÍMICAS

Os resultados das análises químicas podem ser visualizados através da tabela 8. Nota-se, nessa tabela, que diferenças ocorreram, mas, estas não foram tão relevantes. A espécie com o maior teor de extrativos foi *Eucalyptus urophylla*, e, a de

menor teor *Eucalyptus robusta*. Os resultados de extrativos solúveis em água quente estão abaixo dos encontrados por HACHMI e MOSLEMI (1989), onde teores de extrativos iguais a 6,8% para a espécie *Eucalyptus camaldulensis* e 8,9 % para *Eucalyptus gomohocephala*, correlacionaram com níveis de compatibilidade desejáveis, segundo esses autores.

TABELA 8 - RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS

ANÁLISES		<i>E. pellita</i>	<i>E. robusta</i>	<i>E. urophylla</i>	<i>E. citriodora</i>
Solubilidade (%)	ÁGUA FRIA	0,596	1,143	1,939	0,603
	ÁGUA QUENTE	1,8578	1,4523	2,9734	2,9281
	ÁLCOOL+BENZENO	1,0645	1,6703	1,2027	1,7069
	NaOH	12,9282	12,001	15,5013	12,383
	ÁLCOOL (95%)	1,6044	1,4059	2,6267	1,4723
	EXTRATIVOS TOTAIS (%)	3,0003	1,5105	4,5238	1,8819

4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TERMOMETRIA E COMPRESSÃO AXIAL

Como previsto na metodologia, todas os tratamentos foram submetidos à ANOVA, ao nível de 95% de probabilidade, para verificar diferenças estatísticas entre os mesmos. Todos os resultados das análises de variância são apresentados no ANEXO 1.

4.3.1 ESTUDO DO TIPO DE CIMENTO

Com base nos resultados de termometria e compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos, pode-se selecionar o tipo adequado de cimento para ser utilizado

nas próximas fases deste trabalho. A figura 25 mostra os resultados de temperatura e tempo de hidratação para os quatro tipos de cimento testados. Nota-se, que para a variável temperatura de hidratação, ocorreu uma superioridade numérica inquestionável do cimento ARI (Alta resistência inicial). A análise de variância revelou diferenças estatísticas para a variável. O cimento ARI alcançou uma temperatura próxima de 100°C , enquanto que para os outros tipos esse valor não ultrapassou a 79°C (CPIIF). O cimento CPIII foi o que apresentou a menor média (51°C).

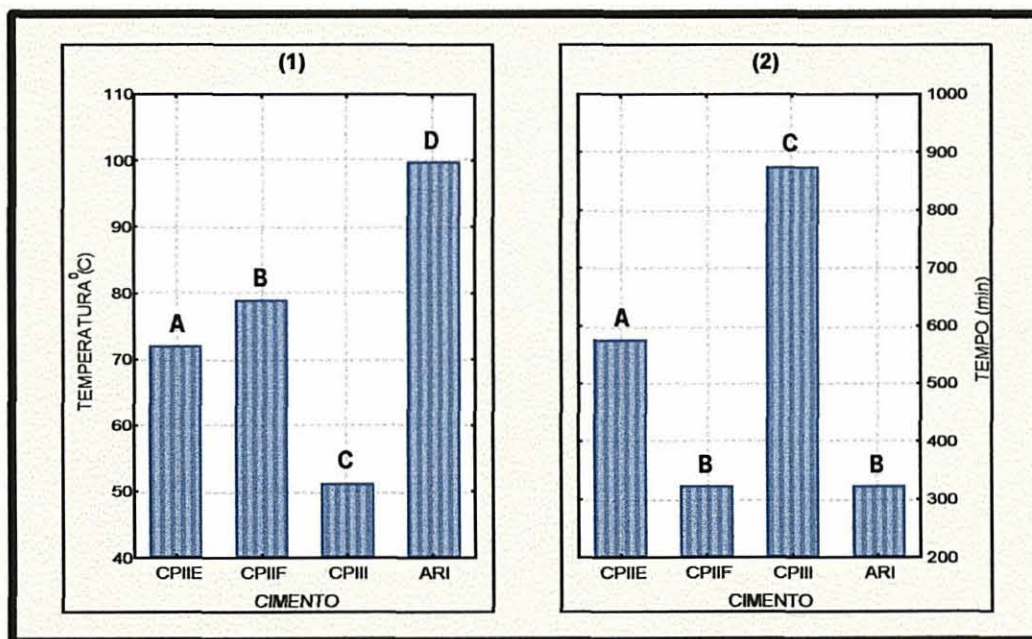
Para a variável tempo ocorreu uma igualdade estatística entre os tipos de cimento ARI e CPIIF. Esses dois tipos obtiveram a temperatura máxima em um tempo próximo de 5:30 h. Para os tipos CPIIE e CPIII esse tempo foi maior, sendo em torno de 9:55 h e 14:56 h, respectivamente.

Os resultados obtidos para as variáveis temperatura e tempo de hidratação seguiram as tendências encontradas na literatura. A alta elevação da temperatura para o cimento ARI, é explicada pela sua composição, ou seja uma alta proporção de clínquer, onde estão presentes os componentes C_3S e C_3A que liberam maior quantidade de calor. O tempo reduzido para se atingir a temperatura máxima, para o caso do cimento ARI, justifica-se por ser um cimento de pega rápida, ocorrendo uma rápida evolução nas reações de hidratação.

Os tipos de cimento CPIIE e CPIII, que apresentaram as menores temperaturas e os maiores tempos, apresentaram esses resultados em função de terem escórias em suas composições. A reação de hidratação das escórias, segundo informações da ABCP (1988 e 1997), são lentas, portanto, a adição desses

materiais ao cimento causa um decréscimo do calor de hidratação por efeito similar a uma diluição.

FIGURA 25 - TENDÊNCIAS DE TEMPERATURA (1) E TEMPO (2) DE HIDRATAÇÃO DOS QUATRO TIPOS DE CIMENTO.



(Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade)

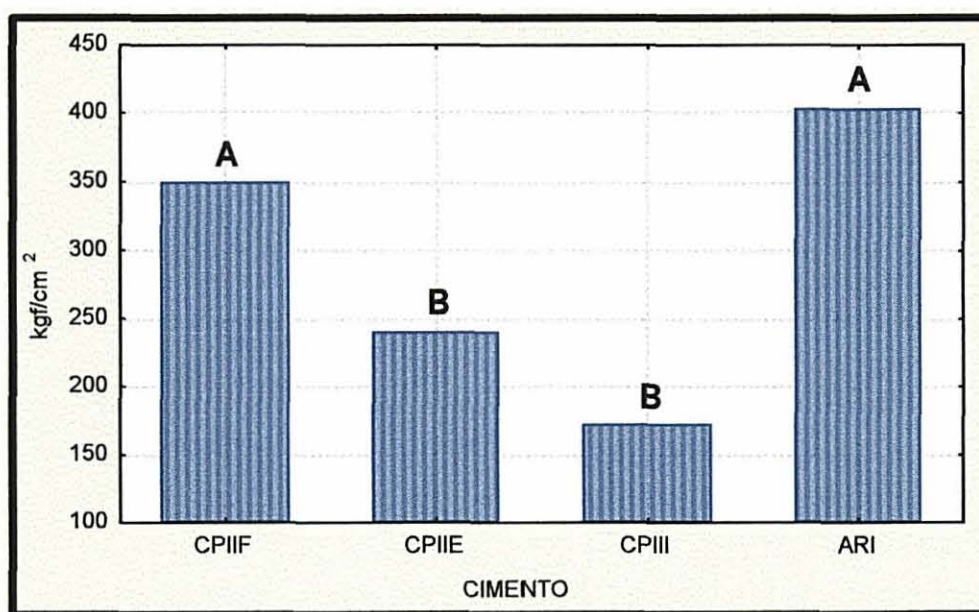
A figura 26, apresenta o resultado para variável compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos analisando o efeito tipo de cimento. Aqui também foram apresentadas diferenças estatísticas entre as médias. A mesma tendência dos resultados obtidos para o tempo de hidratação se repetiu para esta variável. Porém, deve-se observar que o cimento ARI sempre apresentou as maiores médias absolutas.

Exatamente por ser um tipo de cimento de alta resistência inicial, utilizado, segundo ABCP (1988 e 1997), para desforma rápida, ele obtém valores elevados de resistência nos primeiros estágios pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como na moagem fina do cimento, de

modo que, ao reagir com a água, ele adquire resistências elevadas, com maior velocidade.

Essa tendência foi também encontrada por ZUCCO (1999). Comparando o cimento ARI com o CPIIE, esse pesquisador encontrou os melhores resultados para o cimento ARI para as variáveis temperatura e tempo de hidratação e também compressão de corpos-de-prova cilíndricos. A utilização desse tipo de cimento (ARI) é destacada por HUFFAKER (1962), onde o mesmo enaltece a sua grande vantagem de uso em períodos de maturação relativamente curtos.

FIGURA 26 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DOS QUATRO TIPOS DE CIMENTO HIDRATADOS COM 25% DE ÁGUA.



(Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade)

Com base nesses resultados, optou-se por utilizar somente o cimento ARI para realização dos estudos posteriores. Assim, o cimento ARI, foi empregado não só nos ensaios de termometria e compressão axial, mas também para compor os painéis de cimento-madeira.

4.3.2 EFEITO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS

Na tabela 9 observa-se o efeito da granulometria de partículas das quatro espécies pesquisadas, sobre as variáveis temperatura e tempo de hidratação e compressão axial. Nota-se que ocorreram diferenças estatísticas para as variáveis tempo de hidratação e compressão axial em todas as espécies. As análises de variância foram realizadas separadamente por espécie, portanto, o teste de comparações de médias Tukey, foi realizado isoladamente, buscando avaliar o efeito da granulometria dentro de uma mesma espécie.

Para variável temperatura de hidratação, observa-se uma diferença estatística entre as granulometrias apenas para a espécie *Eucalyptus citriodora*. Para as demais espécies, a granulometria de partículas não provocou efeito diferenciado nessa variável.

A granulometria FINOS, da espécie *Eucalyptus citriodora*, provocou o maior decréscimo da temperatura, causando um efeito que pode restringir a sua utilização quando comparada com às outras.

O efeito da granulometria foi bem pronunciado nas variáveis tempo e compressão axial. Porém, não se observa uma definição clara do efeito da variação granulométrica. As diferenças de tamanho nas partículas não definiram uma relação evidente entre a granulometria e o processo de solidificação do cimento, ou seja, não se pode afirmar, neste instante, que a medida em que se aumenta ou diminui a granulometria das partículas ocorrem efeitos diretos ou inversamente proporcionais nas reações do cimento.

TABELA 9 - EFEITO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS (GP) SOBRE A TEMPERATURA E TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	GP	TEMPERATURA		TEMPO		COMPRESSÃO AXIAL	
		Média* (° C)	CV (%)	Média* (min)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	R2,08	75,58 A	2,46	535 A	2,70	94,2 A	10,04
	R1,00	77,15 A	1,54	498 B	1,60	123,8 A B	3,39
	R0,61	77,74 A	1,46	512 A B	3,48	137,0 B	11,79
	FINOS	79,71 A	2,81	482 B	3,51	207,3 C	10,63
	PI	75,69 A	3,47	541 A	1,94	119,7 A B	10,79
<i>Eucalyptus robusta</i>	R2,08	78,34 A	2,04	496 A	2,20	143,1 A	14,71
	R1,00	79,76 A	1,30	468 B	2,42	159,5 A	4,28
	R0,61	77,68 A	4,02	473 B C	2,18	187,4 B C	5,95
	FINOS	77,54 A	2,73	493 A C	1,35	199,6 C	4,64
	PI	79,86 A	0,95	469 B	1,20	167,6 A B	4,90
<i>Eucalyptus urophylla</i>	R2,08	78,96 A	4,43	464 A	1,60	128,8 A	7,89
	R1,00	77,98 A	1,18	461 A	1,41	144,1 A B	10,28
	R0,61	77,95 A	2,15	473 A	1,92	151,8 A B	9,65
	FINOS	76,15 A	1,69	501 B	2,13	167,6 B	6,83
	PI	78,41 A	2,38	478 A	1,64	149,7 A B	2,83
<i>Eucalyptus citriodora</i>	R2,08	74,67 A	2,95	518 A	4,06	99,82 A B	5,00
	R1,00	75,13 A	2,24	515 A	2,53	112,0 A B	6,47
	R0,61	72,31 A	4,41	515 A	0,88	131,4 C	7,43
	FINOS	61,74 B	2,02	658 B	2,77	98,8 A	2,66
	PI	74,55 A	1,43	507 A	2,11	115,1 B	7,71

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre médias para cada espécie ao nível de 95% de probabilidade. * = Médias obtidas de quatro repetições; CV = Coeficiente de Variação.

No caso da espécie *Eucalyptus pellita*, nota-se que para o tempo de hidratação os menores valores foram obtidos para as três menores granulometrias (R1,00, R0,61 e FINOS), contudo, essa tendência não foi observada para a variável compressão axial. Nesta, o melhor resultado foi obtido para a granulometria FINOS, talvez pela melhor conformação da mistura e acomodação entre a matriz de cimento.

As médias obtidas nas variáveis temperatura e compressão axial, para a granulometria PI, foi igual estatisticamente aos resultados das granulometrias R1,00 e R0,61. Assim pode parecer ser possível utilizar uma composição visando dar um maior rendimento ou aproveitamento das partículas.

Ainda observando a tabela 9, nota-se que para a espécie *Eucalyptus robusta*, os extremos, ou seja, granulometrias R2,08 e FINOS, proporcionaram, com base na variável tempo, os resultados mais insatisfatórios (maior tempo). Na variável compressão axial, a granulometria R2,08 continuou apresentando a menor média de resistência, porém, o mesmo não se repetiu para a granulometria finos, sendo esta por um resultado bem expressivo. Nota-se uma igualdade estatística entre os valores médios das granulometrias R1,00, R0,61 e PI na variável tempo. Na variável compressão axial a granulometria PI serviu-se de intermediária entre a R1,00 e R0,61. Novamente, transparece que a granulometria PI pode ser utilizada visando proporcionar um maior aproveitamento.

A espécie *Eucalyptus urophylla* apresentou um resultado indesejável para a granulometria FINOS, analisando-se a variável tempo. Essa granulometria prolongou demasiadamente a reação de hidratação, ficando claro que ela tem um poder maior, para retardar o endurecimento do cimento. Mais uma vez se observa a igualdade de médias entre as granulometria R1,00, R0,61 e PI, agora, para todas as três variáveis, endossando a possibilidade de utilização de granulometrias combinadas. A variável compressão axial, para a espécie *Eucalyptus urophylla*, praticamente não foi influenciada pela variação granulométrica. Somente a granulometria R2,08 é que apresentou um resultado inferior das demais médias de resistência.

Nota-se, observando ainda a tabela 9, que a tendência ocorrida na variável temperatura para a espécie *Eucalyptus citriodora* se repetiu na variável tempo, porém não, para a variável compressão axial. Nesta variável, a granulometria FINOS, deixou de ser, estatisticamente, aquela que proporcionou o resultado mais insatisfatório (média inferior). Mesmo assim, ao que parece, essa granulometria proporcionou um ataque maléfico na reação de hidratação do cimento, evidenciando a sua incompatibilidade para compor painéis de cimento-madeira.

Tomando-se como base os parâmetros estabelecidos por SANDERMANN e KOHLER (1964), citados por HACHMI et al. (1990), pode-se considerar que todas as granulometrias podem ser utilizadas uma vez que, segundo esses pesquisadores, todas as espécies que obtiverem uma elevação de temperatura acima de 60 °C são consideradas aptas. Deve-se ressaltar aqui, que o tipo de cimento pode estar influenciando no nível de elevação de temperatura. Neste caso, talvez não se aplique essa teoria, uma vez que, em se tratando de cimento de alta resistência inicial, pode-se obter elevação de temperatura acima da prevista por esses pesquisadores, mesmo quando determinadas espécies/granulometrias sejam consideradas inadequadas. Isso pode ser ratificado pelos resultados obtidos por ZUCCO (1999), onde o mesmo, obteve tendências de temperatura semelhantes, utilizando dois tipos de cimento (ARI e CPIIE) combinados com uma mesma granulometria inadequada, porém, a elevação de temperatura alcançada utilizando o cimento CPIIE foi muito inferior ao cimento ARI.

Apesar de não ter-se obtido uma definição muito evidente do efeito da granulometria de partículas sobre as variáveis tempo de hidratação e resistência a

compressão axial, o mesmo já não pode se afirmar com relação a variável índice de inibição (figura 27).

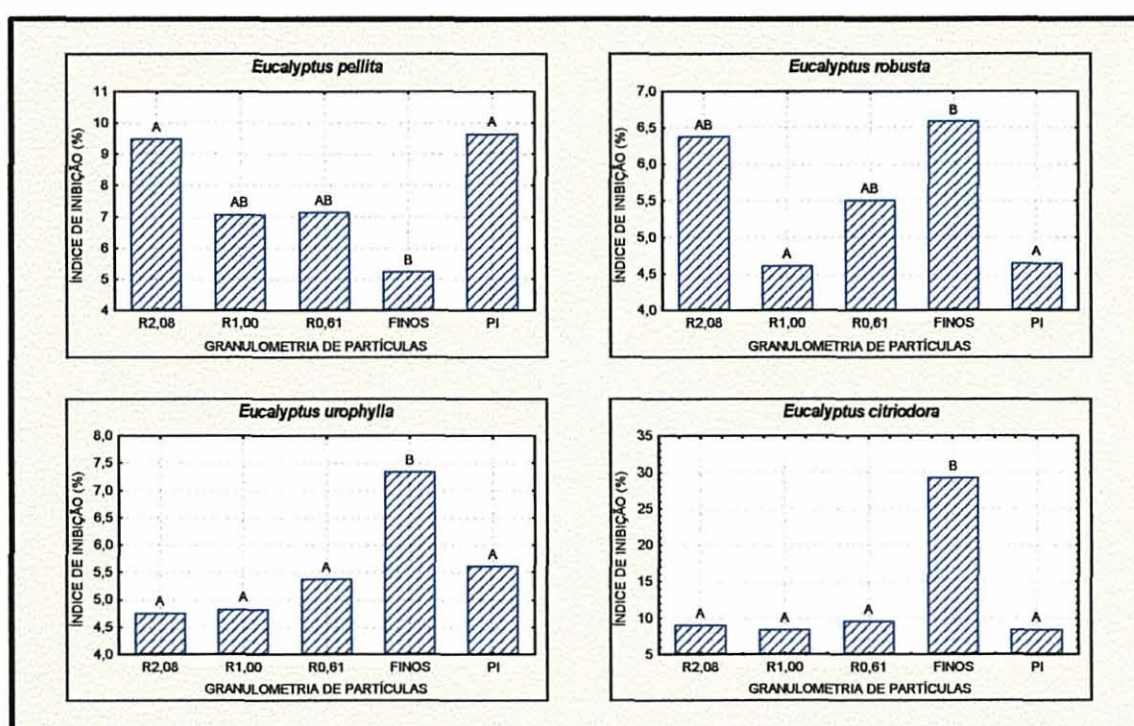
Para as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora* está bem evidente que quanto menor for a partícula maior seu efeito inibidor (figura 27). Os valores médios para a granulometria FINOS, nessas duas espécies, foram diferentes estatisticamente dos demais valores. Para a espécie *Eucalyptus urophylla* a média foi de 7,43%, enquanto que para *Eucalyptus citriodora* foi de 29,2%. Todas as outras granulometrias tiveram suas médias iguais estatisticamente. O fato da granulometria FINOS, na espécie *Eucalyptus citriodora*, ter provocado um grande efeito inibidor, já era esperado. Pode-se observar que a temperatura e o tempo de hidratação para essa granulometria, foram, respectivamente, baixa e elevado (tabela 9). Esse efeito pode ser perfeitamente observado na figura 28. Nota-se nessa figura, que na espécie *Eucalyptus citriodora*, a granulometria FINOS, se destacou das demais causando um decréscimo da temperatura e um aumento do tempo de hidratação.

Na espécie *Eucalyptus robusta*, a granulometria FINOS, também resultou num efeito mais pronunciado na inibição. Porém, apesar de apresentar um valor relativo maior (6,58%), este foi igual estatisticamente a granulometria R0,61 (5,50%) e R2,08 (6,38%). Isso reflete o ocorrido com a variável tempo para esta espécie, ou seja, nessa variável, os piores tempos foram obtidos pelas granulometria de maior e menor tamanho.

Na espécie *Eucalyptus pellita*, a tendência ocorrida para granulometria FINOS, na variável compressão axial, repetiu-se para variável índice de inibição. A menor média de índice de inibição gerou a maior resistência a compressão (207,3 kgf/cm). A influência da menor granulometria na mistura do compósito (cimento-

madeira-água) pode ter sido a razão para que resultados superiores de compressão ocorressem. Isso, de fato pode ter ocorrido, porque, mesmo as médias sendo iguais estatisticamente à granulometria FINOS (5,22%), em relação ao índice de inibição, as granulometrias R1,00 e R0,61 não proporcionaram médias superiores ou iguais estatisticamente ao FINOS, para a variável compressão axial.

FIGURA 27 - EFEITO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS (GP) SOBRE O ÍNDICE DE INIBIÇÃO NAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO



(Letras diferentes denotam diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade)

Sabe-se que o índice de inibição é o reflexo do que ocorre com as variáveis temperatura e tempo de hidratação, uma vez que a equação desenvolvida por HOFSTRAND et. al. (1984) leva em consideração essas variáveis. Como a variável temperatura não foi influenciada pela granulometria de partículas, com exceção da espécie *Eucalyptus citriodora*, a definição dos índices de inibição para cada granulometria foi regida pelo tempo de hidratação. Assim, a variável índice de inibição traduziu com melhor visualização qual alteração que a granulometria

proporcionou no processo da reação de hidratação. Desta forma, fica obvio que a granulometria tem influência significativa no tempo de pega e solidificação do cimento. Pode-se observar que, de uma maneira geral, ocorreu a seguinte situação: temperaturas de hidratação idênticas estatisticamente (SP_1 , SP_2 , SP_3) e tempo de hidratação distintos. Segundo VALENZUELA (1989), isso pode indicar o efeito retardador de certas substâncias contidas na biomassa.

O que ocorreu com o índice de inibição, estatisticamente, não ocorreu de igual forma na variável compressão axial. A exceção foi realmente a espécie *Eucalyptus citriodora*, apesar do resultado de resistência à compressão não ter sido isoladamente o pior. Isto ocorreu, provavelmente, porque esse índice de inibição, para a granulometria FINOS, foi o único índice (29,2%) considerado ter, pela metodologia de HOFSTRAND et al. (1984) apresentada na revisão de literatura, um valor relativo que causa um efeito inibitório às reações do cimento. Por isso é que esse índice refletiu uma baixa resistência à compressão.

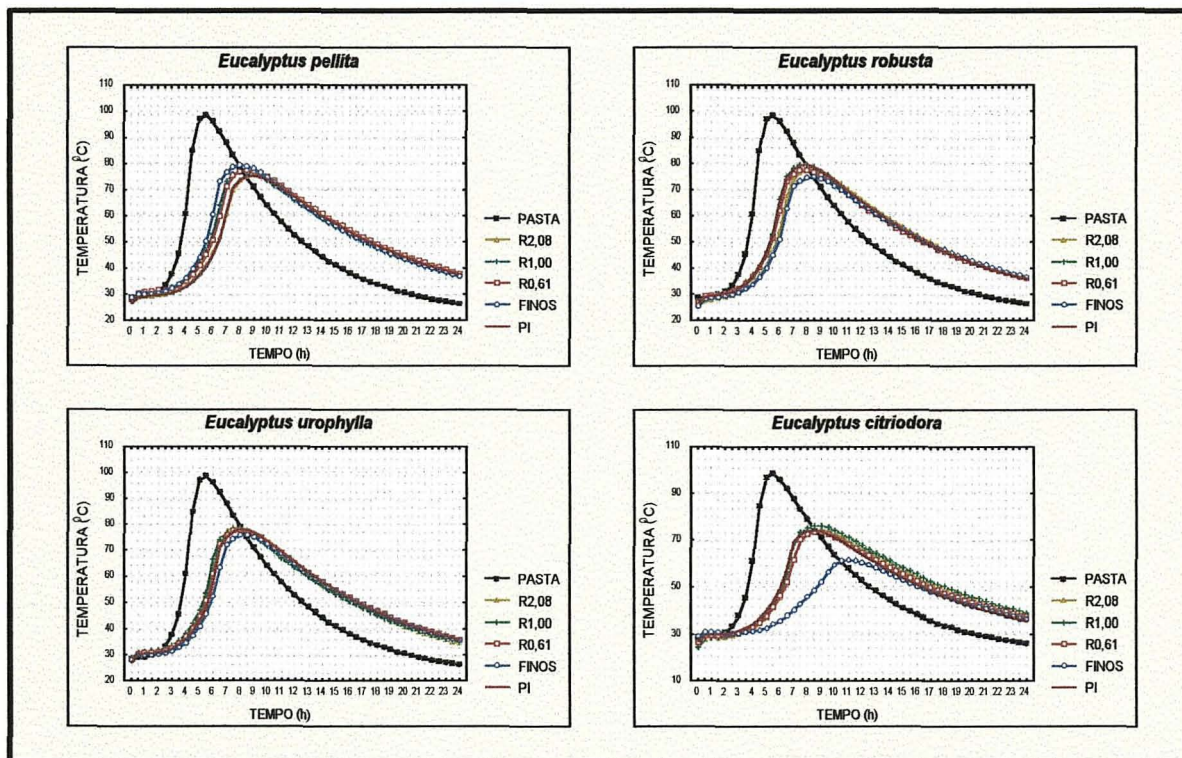
Todos os outros índices de inibição, de cada espécie, podem ser considerados satisfatórios (\downarrow 10%), conforme metodologia de HOFSTRAND et al. (1984). Assim, os resultados obtidos para compressão axial, possivelmente tiveram como principal causa, a relação física entre o aglomerante e o agregado, tanto que, PRESTMON, citado por SORFA e BONGERS (1982), relata que serragem (pó de serra) resulta em maiores valores de resistência à compressão do que partículas tipo "sliver". Talvez esteja aí a explicação do porquê da granulometria FINOS, para as espécies *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla*, ter resultado em maior valor absoluto em compressão axial, tendo como índice de inibição valores relativos maiores. Na realidade, esses índices, não podem ser responsáveis por resistências

inferiores, porque são considerados como satisfatórios, ou seja, estão em patamares que os habilitam a ser compatíveis para uma possível combinação com cimento para compor painéis de cimento-madeira.

Os resultados encontrados de índice de inibição, para o efeito granulometria de partículas, conferem, em parte, com o que se encontra na literatura. Segundo WEATHERWAX e TARCOW (1964), com a diminuição do tamanho das partículas têm-se um aumento quase que linear do índice de inibição. Isso se assemelha, nesta pesquisa, para a espécie *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. Mas, em se tratando das espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus robusta* este fato já não ocorre.

O efeito da temperatura e tempo de hidratação pode ser melhor visualizado observando a figura 28. Nota-se que a granulometria FINOS alterou significativamente a curva de hidratação da espécie *Eucalyptus citriodora*. Ocorreram quase que uma sobreposição de curvas para as outras espécies. Tendo-se como base a curva de hidratação da pasta de cimento (cimento+água), observa-se, que o comportamento da curva de hidratação, quando se utilizou partículas na mistura, obedeceu quase que a mesma tendência em todas as espécies, rara exceção, da espécie *Eucalyptus citriodora*. O nível de compatibilidade, assim analisado, demonstra ser muito semelhante para os diferentes tipos de granulometrias.

FIGURA 28 - EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM CADA UMA DAS CINCO GRANULOMETRIAS DE PARTÍCULAS OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO



O fato de todas as granulometrias, com exceção da FINOS da espécie *Eucalyptus citriodora*, terem sido consideradas como aptas, visto especialmente pelo índice de inibição, não significa que todas propiciarão propriedades físicas e mecânicas dos painéis satisfatórias e semelhantes. O comportamento das propriedades físicas e especialmente as mecânicas, não são influenciadas tão somente pelo poder inibitório desta ou daquela granulometria. A geometria e a granulometria são fatores preponderantes nos resultados. Assim como, de acordo com PRESTMON (apud SORFA e BONGERS, 1982), partículas menores resultam em maiores valores de resistência à compressão, partículas maiores aumentam a resistência à flexão (KAYSHARA, apud SORFA e BONGERS, 1982). SIMATUPANG et al. (1978), citam como dimensões ótimas, partículas com comprimento entre 2 –

20 mm, largura entre 0,2 - 2,5 mm e espessura de 0,1 - 0,9 mm e, afirmam ainda, que a inclusão de 10 - 12 % de finos na composição da chapa, melhora substancialmente a sua resistência.

Com base nos resultados ora observados e nas considerações dispostas, decidiu-se optar pelo tipo de granulometria PI. Duas causas contribuíram para que essa decisão fosse tomada. A primeira é que os resultados anteriores mostraram-se, na média, satisfatórios, especialmente na variável índice de inibição. Conseqüentemente, o emprego de granulometrias combinadas, contribuiu para um aumento do aproveitamento do material (partículas de madeira). Assim as análises posteriores de termometria e compressão axial, foram realizadas utilizando-se granulometrias do tipo PI.

4.3.3 EFEITO DOS ADITIVOS

Como previsto anteriormente na metodologia, quatro aditivos químicos e um mineral foram testados para se avaliar suas influências na termometria e compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos. Inicialmente estudou-se, isoladamente os quatro aditivos químicos à uma concentração de 3%, com base no peso do cimento. Após a seleção do aditivo mais apropriado, realizou-se o estudo da variação percentual de aditivo (2, 3 e 4%), utilizando-se o aditivo selecionado. Somente após definido o aditivo químico e o seu percentual, se incluiu nas análises o aditivo mineral. Desta forma, os resultados estão assim apresentados:

- A. Efeito do tipo de aditivo químico;
- B. Efeito do percentual do aditivo químico;

C. Efeito do aditivo mineral.

A. Efeito do tipo de aditivo químico

Na tabela 10, são apresentados os resultados para as variáveis temperatura e tempo de hidratação e resistência à compressão axial, para os quatro aditivos químicos (3%), combinados com o cimento ARI e granulometria de partículas PI, de todas as espécies.

Observando-se a tabela 10, nota-se que na variável tempo de hidratação, ocorreu uma superioridade do aditivo CaCl_2 em todas as espécies, ou seja, estatisticamente, o CaCl_2 foi, isoladamente, o aditivo que proporcionou o menor tempo para que a reação de hidratação atingisse a temperatura máxima. O oposto, foi observado com o aditivo Na_2SiO_3 , ou seja, ele foi o responsável, isoladamente, pelo maior resultado de tempo de hidratação. Isso pode ser facilmente visualizado através da figura 29. Nota-se, nessa figura, que o CaCl_2 foi o aditivo que mais deslocou o ponto de inflexão da curva de hidratação para a esquerda, sendo inclusive responsável por um tempo de hidratação menor do que o obtido pela pasta (cimento-água).

Ocorreram igualdades estatísticas, na variável tempo, entre os valores médios dos aditivo MgCl_2 e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ nas espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus robusta*, enquanto que, nas espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora* o aditivo MgCl_2 foi mais eficaz do que $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (tabela 10).

Confrontando-se os resultados obtidos para granulometria PI, observadas na tabela 9, e os resultados da granulometria PI combinada com o aditivo químico

CaCl₂ (tabela 10), nota-se que, em todas as espécies, ocorreram significativas reduções do tempo de hidratação. Isso confirma as informações de NEVILLE (1997), na qual diz que o CaCl₂ é um excelente acelerador de pega do cimento.

TABELA 10 - EFEITO DOS ADITIVOS QUÍMICOS SOBRE A TEMPERATURA E TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	ADITIVO	TEMPERATURA		TEMPO		COMPRESSÃO AXIAL	
		Média* (° C)	CV (%)	Média* (min)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	CaCl ₂	86,86 A	1,74	221 A	1,30	238,3 A	5,40
	MgCl ₂	82,81 B	0,52	336 B	6,73	170,6 B	5,54
	Na ₂ SiO ₃	85,75 A	2,06	457 C	3,88	187,9 B	9,34
	Al ₂ (SO ₄) ₃	81,31 B	1,45	327 B	2,57	168,7 B	2,87
<i>Eucalyptus robusta</i>	CaCl ₂	84,51 A B	2,13	231 A	3,65	208,3 A	3,78
	MgCl ₂	82,69 A	2,53	337 B	2,70	186,4 A B	4,04
	Na ₂ SiO ₃	87,39 B	1,88	426 C	2,80	169,1 B C	9,64
	Al ₂ (SO ₄) ₃	83,76 A B	2,30	321 B	3,01	158,9 C	9,87
<i>Eucalyptus urophylla</i>	CaCl ₂	85,07 A	1,83	237 A	4,50	256,2 A	15,53
	MgCl ₂	81,65 B	1,35	381 C	2,47	215,4 A B	11,64
	Na ₂ SiO ₃	83,63 A B	1,57	527 D	6,34	189,9 B	11,79
	Al ₂ (SO ₄) ₃	82,01 B	1,45	313 B	2,74	199,1 A B	9,39
<i>Eucalyptus citriodora</i>	CaCl ₂	84,52 A	1,80	252 A	6,96	244,9 A	4,92
	MgCl ₂	82,38 A	0,96	366 C	8,06	211,3 B	4,19
	Na ₂ SiO ₃	83,13 A	3,70	474 D	3,06	169,1 C	5,11
	Al ₂ (SO ₄) ₃	82,53 A	1,57	310 B	4,99	199,6 B	5,71

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias para cada espécie ao nível de 95% de probabilidade. * = Médias obtidas de quatro repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Observando a variável temperatura (tabela 10), nota-se que os aditivos CaCl₂ e Na₂SiO₃, sempre proporcionaram, para todas as espécies, os melhores resultados, sendo que, nas espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus urophylla* esses dois aditivos foram isoladamente os melhores. Esse comportamento pode ser observado

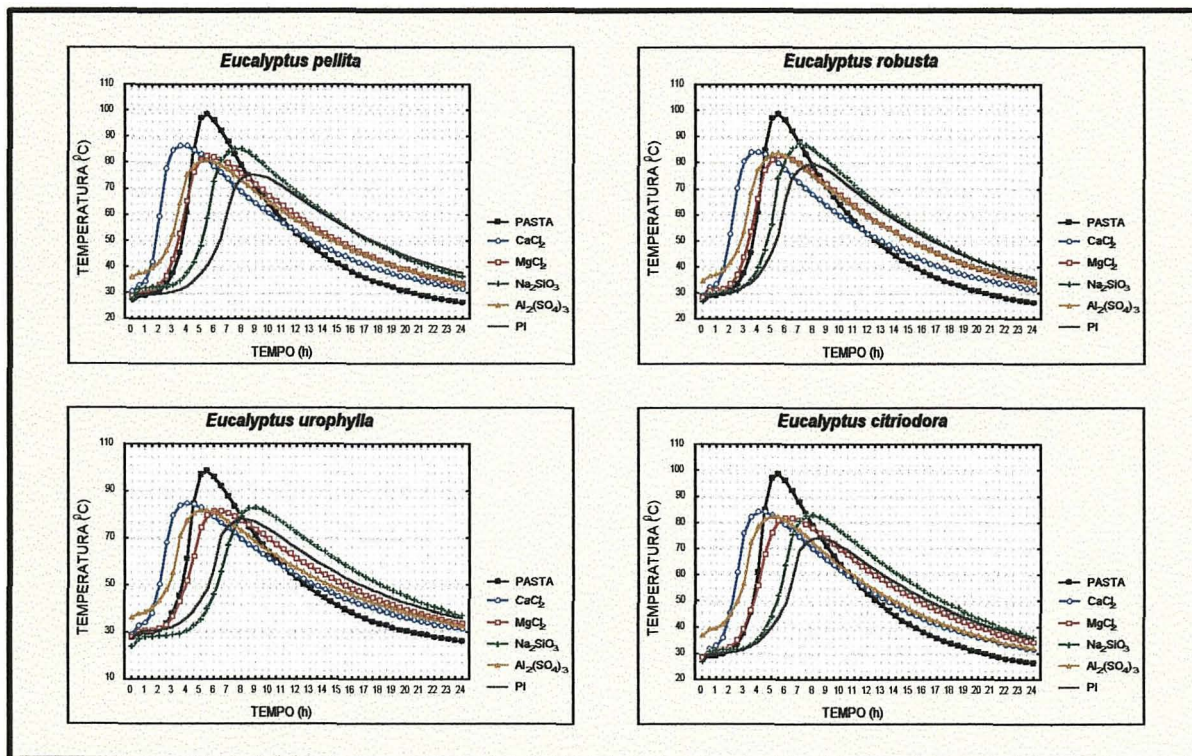
na figura 29. O pico máximo de temperatura, observando o gráfico das espécies, sempre foi obtido com os aditivos CaCl_2 e Na_2SiO_3 .

A exemplo do ocorrido com as variáveis temperatura e tempo de hidratação, na variável compressão axial, o aditivo CaCl_2 também foi responsável pelos melhores resultados. Nas espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus citriodora*, ele foi, isoladamente, o que apresentou, estatisticamente, a maior resistência à compressão. Nota-se também que o aditivo Na_2SiO_3 não proporcionou resultados satisfatórios, especialmente na espécie *Eucalyptus citriodora*.

Observando a figura 29, nota-se que todos os aditivos químicos desenvolveram uma curva de hidratação com perfis superiores à curva de hidratação desenvolvida pela granulometria PI (composição granulométrica nº 5) sem adição de aditivos. Somente o aditivo Na_2SiO_3 desenvolveu um maior tempo para atingir a temperatura máxima, em relação a granulometria PI sem adição de aditivos, na espécie *Eucalyptus urophylla*. Observando as curvas de hidratação, percebe-se o comportamento diferenciado entre os aditivos, mas de uma maneira geral, todos eles tiveram um influência positiva na reação de hidratação do cimento.

Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), o aditivo acelerador deve promover a dissolução dos íons de cátions (íons de cálcio) e ânions do cimento. Uma vez que existem vários ânions a dissolver, o acelerador deve promover a dissolução daquele constituinte que tem a menor velocidade de dissolução durante o período inicial de hidratação, um exemplo seria íons de silicato. Assim, afirmam esses autores, o CaCl_2 , é de longe o aditivo mais conhecido e empregado. Esse aditivo promove a redução no tempo de pega, aumenta, não só o calor de hidratação, mas como também a resistência à compressão.

FIGURA 29 - EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO MAIS A ADIÇÃO DE QUATRO ADITIVOS QUÍMICOS



PI = Composição granulométrica n° 5; Pasta = cimento+água

O aditivo CaCl_2 , obteve, dentre os quatro aditivos testados, o melhor desempenho. Esse resultado, foi encontrado por vários pesquisadores (SORFA e BONGERS, 1983; MOSLEMI et al., 1983; ZHENG TIAN e MOSLEMI, 1985; RASHWAN et al., 1992; IWAKIRI, 1996; ZUCCO, 1999), portanto, os resultados foram compatíveis com os obtidos por outros autores.

Sendo assim, o aditivo CaCl_2 foi o selecionado para desenvolver a pesquisa sobre variação percentual do aditivo químico em relação ao peso do cimento.

B. Efeito do percentual do aditivo químico

Observando a tabela 11, percebe-se que a variável temperatura de hidratação, praticamente não foi influenciada pela variação percentual do aditivo CaCl_2 . Somente na espécie *Eucalyptus robusta* ocorreu uma diferença estatística entre as médias de temperatura. Neste caso o percentual de 4% proporcionou a maior média absoluta, mas não diferiu estatisticamente da média do percentual 3%.

O efeito da variação percentual do aditivo CaCl_2 foi bem evidenciado na variável tempo. Nota-se, na tabela 11, que o percentual de 4%, reduziu significativamente o tempo de hidratação, sendo menor e diferindo estaticamente dos percentuais 2 e 3%, em todas as espécies. Isso demonstra que o tempo de pega do cimento está muito relacionado com o percentual empregado. Informações de MEHTA e MONTEIRO (1994), confirmam esses resultados. Segundo esses autores, a aplicação de 2% de CaCl_2 , reduz em até 50% o tempo total de pega, em relação a uma mistura que não contenha esse aditivo.

O percentual de 4% resultou numa diminuição do tempo, em relação ao percentual 2%, na ordem de 31,68% para espécie *Eucalyptus pellita*, 35,39% para *Eucalyptus robusta*, 26,02% para espécie *Eucalyptus urophylla* e 28,57% para espécie *Eucalyptus citriodora*. MOSLEMI et al. (1983), encontraram uma redução do tempo na ordem de 60%, mas, utilizando um percentual de 5% de CaCl_2 .

A resistência à compressão axial, foi também afetada pela variação percentual do aditivo CaCl_2 . Nas espécies *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus citriodora*, a utilização do percentual de 4% resultou em médias estatisticamente superiores de resistência. O aumento do percentual provocou um aumento de

resistência nas primeiras 24 h, uma vez que o ensaio foi realizado ao final desse período. Este resultado confere com as informações de MEHTA e MONTEIRO (1994), que dizem que o CaCl_2 aumenta significativamente a resistência à compressão nos primeiros três dias de cura, esse ganho pode ficar entre 30 a 100%.

TABELA 11 - EFEITO DA VARIAÇÃO DO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 SOBRE A TEMPERATURA, TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	CaCl_2 (%)	TEMPERATURA		TEMPO		COMPRESSÃO AXIAL	
		Média* (° C)	CV (%)	Média* (min)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	2	82,92 A	1,35	303 A	3,84	253,1 A	1,66
	3	84,52 A	1,80	252 B	6,96	238,3 A	5,40
	4	82,21 A	2,89	207 C	2,05	265,8 A	9,50
<i>Eucalyptus robusta</i>	2	81,88 A	1,40	308 A	2,43	206,8 A	5,96
	3	84,51 A B	2,13	231 B	3,65	208,3 A	3,78
	4	85,44 B	1,12	199 C	7,81	305,6 B	4,18
<i>Eucalyptus urophylla</i>	2	83,19 A	2,34	269 A	2,34	247,5 A	5,95
	3	85,07 A	1,83	237 B	4,50	256,2 A B	15,53
	4	85,25 A	1,30	199 C	5,39	305,6 B	4,71
<i>Eucalyptus citriodora</i>	2	81,96 A	2,40	266 A	2,68	242,7 A	5,92
	3	84,52 A	1,80	252 A	6,96	244,9 A	4,92
	4	82,94 A	2,96	190 B	4,68	283,2 B	7,22

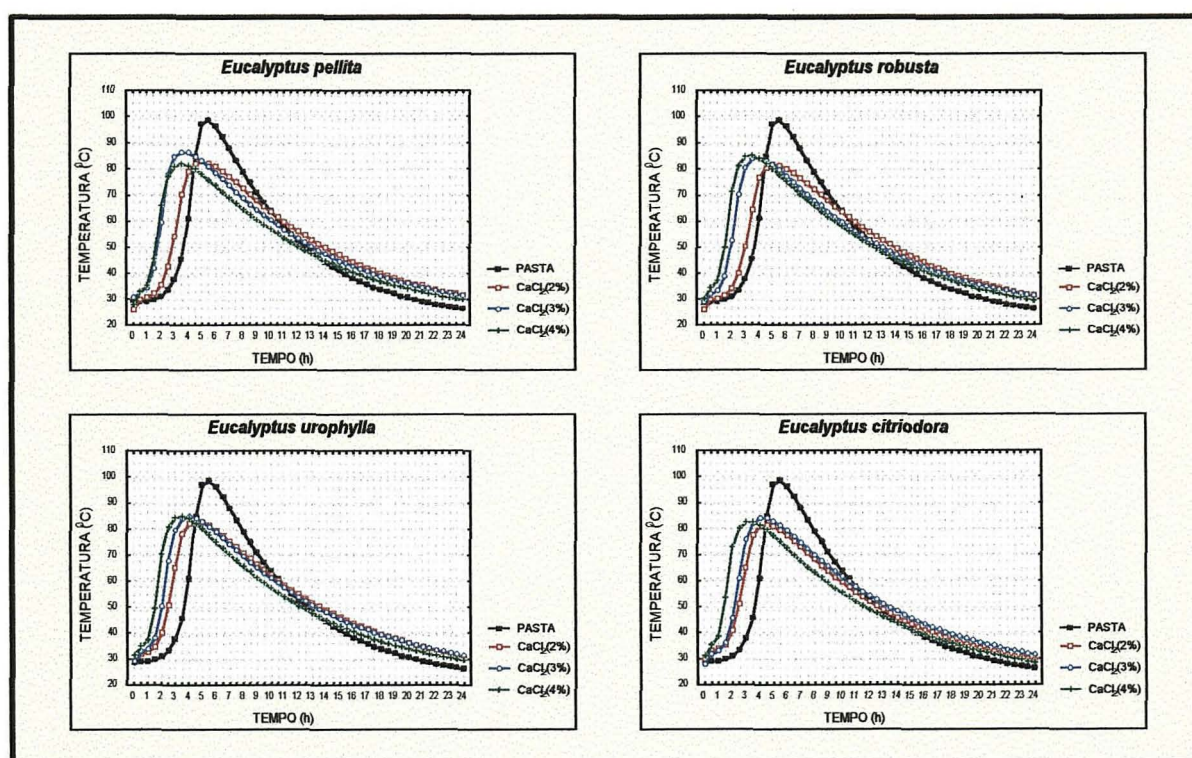
Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias para cada espécie ao nível de 95% de probabilidade. * = Médias obtidas de quatro repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Observando-se a figura 30, percebe-se que o percentual 2% desenvolveu a curva mais indesejada, comparando-se aos percentuais 3 e 4%. Aquele percentual acelerou, com menos intensidade, a reação de hidratação. Nota-se que o tempo necessário para atingir a temperatura máxima, foi mais elevado em todas as espécies. Os percentuais 3 e 4% apresentaram suas curvas bem semelhantes,

somente que o percentual de 4% teve um ligeiro melhor desempenho, especialmente no tempo.

De uma maneira geral, pode-se observar que, na medida que se aumenta o percentual do CaCl_2 de 2 a 4%, ocorreram melhorias em todas as propriedades, principalmente na variável tempo. O percentual de 4%, desta forma, mostrou-se mais eficaz, sendo selecionado para ser utilizado na fase de manufatura dos painéis.

FIGURA 30 - EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO, MAIS A ADIÇÃO DE TRÊS PERCENTUAIS DO ADITIVO QUÍMICO CaCl_2



C. Efeito do aditivo mineral

Na tabela 12 são apresentados os resultados relativos ao estudo da adição do aditivo mineral microssilica. Nota-se, que esse aditivo a uma quantidade de 10%

(base peso do cimento), foi adicionado isoladamente e também combinado com o CaCl_2 (4%). Os dados foram comparados com os resultados obtidos anteriormente para o tratamento que utilizou a adição de CaCl_2 (4%) e, também, com o tratamento em que não foram adicionados aditivos, ou seja, os dados obtidos quando se utilizou somente granulometria PI+cimento+água.

Observando a tabela 12, nota-se que, na variável temperatura de hidratação, em todas as espécies, o desempenho do aditivo microssílica (isoladamente) ficou equiparável, estatisticamente, ao obtido, quando não se utilizou aditivo (PI). Isso revela que esse aditivo mineral não promoveu uma modificação (elevação) da temperatura da reação de hidratação. Ao observar as variáveis tempo e compressão axial, verifica-se, que o comportamento do aditivo mineral, foi melhorado, mas somente em relação a granulometria PI.

O aditivo microssílica, realmente não promoveu modificações significativas na termometria (temperatura e tempo de hidratação), basta observar a curva de hidratação desenvolvida quando esse aditivo foi adicionado (figura 31). O comportamento ficou bem semelhante à curva de hidratação apresentada quando não se utilizou nenhum aditivo (granulometria PI). Nota-se apenas uma pequena diferença na curva, quando utilizou-se a espécie *Eucalyptus pellita*.

LANGE **et al.** (1989), afirma que a sílica fume (microssílica) previne o efeito retardador de substâncias da madeira, sobre a solidificação do cimento. Talvez, por serem espécies com baixo índice de inibição, é que a ação da microssílica não pode ser sentida na variável temperatura. Provavelmente, esse aditivo, que também tem características de aglomerantes hidráulicos, apresenta uma reação de hidratação lenta, adquirindo resistência em períodos posteriores a 24 h. Talvez seja esse o

motivo para que a resistência a compressão tenha sido inferior à mistura que utilizou CaCl_2 (4%), ou seja, esse aditivo mineral não funciona como um acelerador de pega e endurecimento.

TABELA 12 - EFEITO DO USO DA MICROSSÍLICA SOBRE A TEMPERATURA, TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA

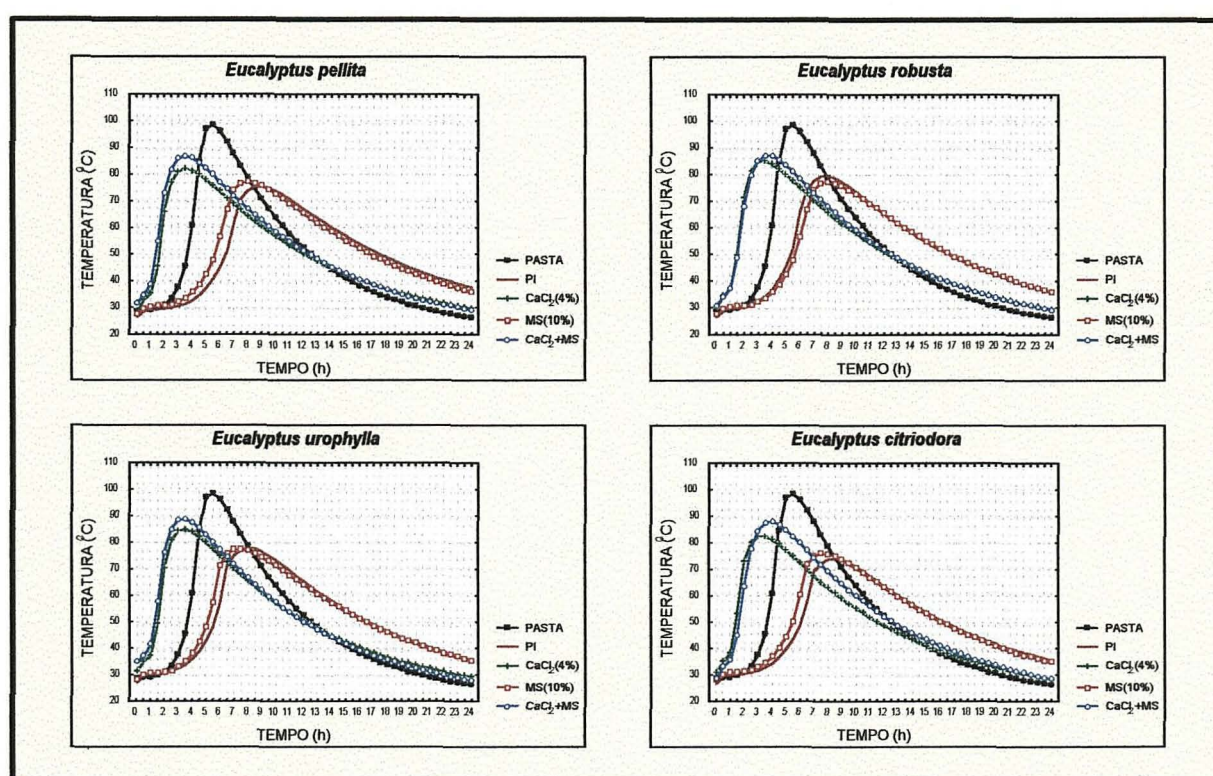
ESPÉCIE	EFEITO	TEMPERATURA		TEMPO		COMPRESSÃO AXIAL	
		Média* (° C)	CV (%)	Média* (min)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	PI	75,69 A	3,49	541 A	1,94	119,7 A	10,79
	CaCl (4%)	82,21 B	2,89	207 C	2,05	265,8 B	9,50
	MS (10%)	77,43 A	3,29	475 B	3,43	172,1 C	2,46
	CaCl+MS	87,22 C	1,32	211 C	4,51	326,9 D	2,07
<i>Eucalyptus robusta</i>	PI	79,86 A	0,95	469 A	2,00	167,5 A	4,90
	CaCl (4%)	85,44 B	2,78	200 C	7,77	305,6 C	4,18
	MS (10%)	79,56 A	2,00	412 B	2,96	213,9 B	16,80
	CaCl+MS	87,61 B	2,32	218 C	6,30	314,9 C	4,54
<i>Eucalyptus rophylla</i>	PI	78,41 A	2,38	478 A	1,64	149,7 A	2,83
	CaCl (4%)	85,25 B	1,30	198 C	5,42	305,6 C	4,71
	MS (10%)	77,81 A	1,77	439 B	2,14	237,8 B	8,16
	CaCl+MS	89,30 B	4,14	197 C	1,88	310,9 C	1,72
<i>Eucalyptus citriodora</i>	PI	74,55 A	1,43	507 A	2,11	115,1 A	7,71
	CaCl (4%)	82,94 B	2,96	190 B	4,68	283,2 C	7,22
	MS (10%)	76,34 A	1,96	456 C	2,67	186,4 B	10,87
	CaCl+MS	88,25 C	1,59	234 D	7,03	285,2 C	3,25

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias para cada espécie ao nível de 95% de probabilidade. * = Médias obtidas de quatro repetições; CV = Coeficiente de Variação. PI = Composição granulométrica nº 5 sem adição de aditivo. MS = Microsílica

Ficou evidente que a adição de CaCl_2 (4%) combinado ou não com microsílica (10%), apresentou melhores resultados em relação a adição de microsílica (10%) isoladamente, e, muito mais em relação aos resultados obtidos quando não se utilizou aditivos. Fica apenas a observar, se a microsílica promoveu efeitos satisfatórios quando combinado com CaCl_2 (4%). Observando a variável

temperatura, na tabela 12, nota-se que em duas espécies (*E. pellita* e *E. citriodora*) a elevação da temperatura, com a adição de CaCl_2 (4%) + microssílica (10%), foi superior estatisticamente a todos os outros tratamentos (efeito).

FIGURA 31 - EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO MAIS A ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA (10%) COMBINADA OU NÃO COM CaCl_2 (4%)



De uma maneira geral, observando os resultados das quatro espécies, verifica-se que a combinação de aditivos (CaCl_2 , 4% + microssílica, 10%), proporcionou os melhores resultados. As médias resultantes dessa combinação, equipararam-se a outros resultados obtidos pela adição de CaCl_2 (4%) isoladamente. Desta forma, a utilização desse aditivo não pode ser totalmente descartado.

4.3.4 EFEITO DA ESPÉCIE

Os efeitos das espécies sobre a termometria e a resistência a compressão axial, foram avaliados sob duas situações:

- A. Efeito da espécie sem aditivos;
- B. Efeito da espécie com adição de CaCl_2 (4%).

Assim, pode-se analisar a influência causada pela espécie nas variáveis estudadas, inicialmente sem a contribuição de um aditivo, revelando a situação real em que se observa a capacidade que cada espécie tem, isoladamente, de alterar o processo de pega e solidificação do cimento. Face essa análise, constatou-se qual a espécie influenciou negativamente, menos ou mais, e, se essa influência foi neutralizada pela ação do aditivo selecionado.

A. Efeito da espécie sem aditivos

Através da tabela 13, pode-se observar o efeito, comparativo, que cada uma das espécies proporcionou às variáveis temperatura e tempo de hidratação e resistência à compressão axial.

Verifica-se, para todas as variáveis, que as espécies *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla*, foram as que apresentaram os melhores resultados (tabela 13). Os valores médios absolutos de temperatura, tempo e resistência à compressão, para essas duas espécies, foram, estatisticamente, diferentes dos valores médios absolutos das demais. As médias de temperatura de hidratação e compressão axial foram superiores e do tempo de hidratação inferiores.

TABELA 13 - EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE A TEMPERATURA, TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	TEMPERATURA		TEMPO		COMPRESSÃO AXIAL	
	Média* (° C)	CV (%)	Média* (min)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	75,69 A B	3,49	541 A	1,94	119,7 A	10,79
<i>Eucalyptus robusta</i>	79,86 C	0,95	469 B	1,99	167,5 B	4,90
<i>Eucalyptus urophylla</i>	78,41 B C	2,38	478 B	1,64	149,7 B	2,83
<i>Eucalyptus citriodora</i>	74,55 A	1,43	507 C	2,11	115,1 A	7,71

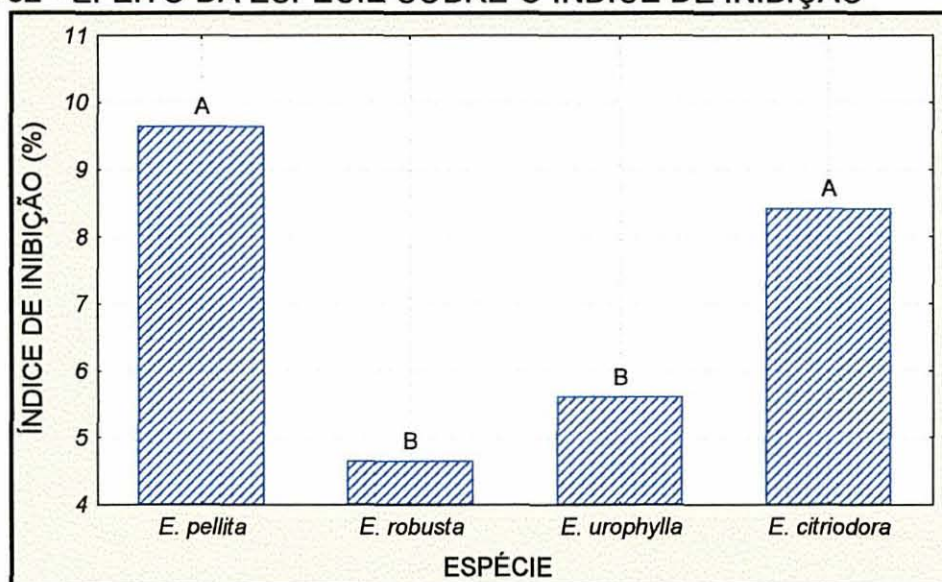
Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias para cada espécie ao nível de 95% de probabilidade. * = Médias obtidas de quatro repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Os índices de inibição dessas duas espécies (*Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla*), como podem ser observados na figura 32, ficaram abaixo de 6% e, também foram diferentes estatisticamente dos índices obtidos pelas demais. Esses índices são considerados excelentes. Porém, deve-se observar, que, apesar de serem inferiores aos das espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus citriodora*, não seria prudente afirmar que os resultados das propriedades das chapas serão muito superiores, uma vez que os índices obtidos pelas espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus citriodora* ficaram abaixo de 10%.

A tendência da evolução da reação de hidratação desenvolvida para cada espécie, pode ser observada na figura 33. Verifica-se nitidamente que as espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus citriodora*, provocaram uma maior redução na temperatura máxima, enquanto prolongaram o tempo para que a mesma fosse atingida. A tendência apresentada pelas espécies *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus*

urophylla apresentaram semelhanças, daí, seus índices de inibição serem, estatisticamente, iguais.

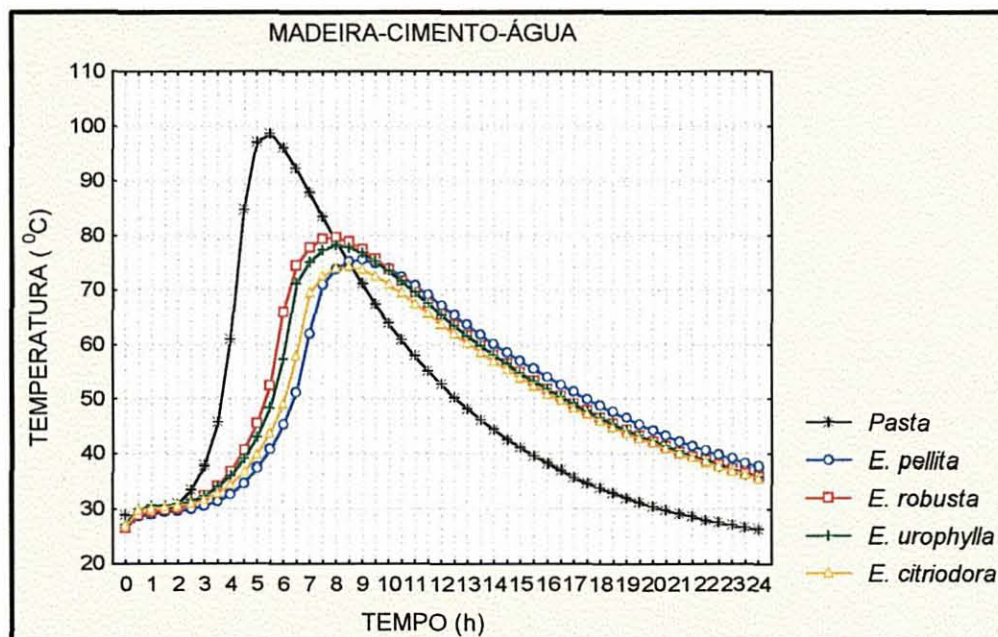
FIGURA 32 - EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE O ÍNDICE DE INIBIÇÃO



Normalmente as diferenças de compatibilidade e/ou aptidão ocorridas entre espécies, são atribuídas às suas propriedades químicas, especialmente aos teores de extrativos. Observando a tabela 8 (análises químicas), verifica-se, que não ocorreram diferenças discrepantes entre os valores médios relativos, das espécies, para todas as análises. Pode-se observar, inclusive, que as maiores médias relativas, principalmente nos extrativos totais, foi atribuída à espécie *Eucalyptus urophylla*. Teoricamente esta espécie deveria apresentar o pior resultado de aptidão, mas foi uma das melhores. Este fato pode estar relacionado aos resultados encontrados por HACHMI e MOSLEMI (1989). Eles relataram que o conhecimento da composição química têm um papel importante para se determinar a compatibilidade, sendo essencial conhecer as substâncias que compõem os extrativos. Sendo assim, havendo uma influência negativa esta não poderá ser atribuída à quantidade de extrato, mas sim, à composição do mesmo. Isso pode ter

ocorrido com a espécie *Eucalyptus citriodora*, o que sugere uma pesquisa mais aprofundada de suas propriedades químicas.

FIGURA 33 - EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO



B. Efeito da espécie com adição de CaCl_2 (4%)

Não houve diferença estatística quando o CaCl_2 (4%) foi adicionado a todas as espécies, para as variáveis de temperatura e tempo de hidratação (tabela 14). Esse aditivo eliminou o efeito diferenciado de cada uma delas, proporcionando um nivelamento na reação de hidratação. Isso está bem apresentado na figura 34. Nota-se que a curva de hidratação das quatro espécies praticamente se sobrepuseram, ocorrendo, apenas, ligeiras diferenças de temperatura próxima ao ponto de inflexão.

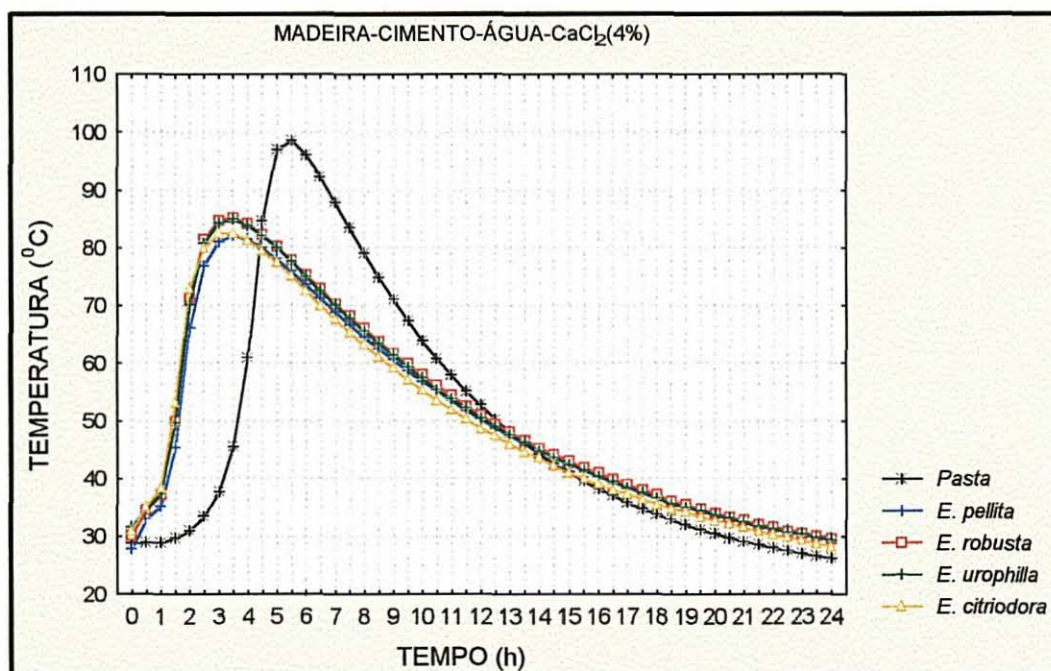
TABELA 14 - EFEITO DA ESPÉCIE COMBINADA COM O ADITIVO QUÍMICO CaCl_2 (4%) SOBRE A TEMPERATURA, TEMPO DE HIDRATAÇÃO E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO COMPOSITO CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	TEMPERATURA		TEMPO		COMPRESSÃO AXIAL	
	Média* (° C)	CV (%)	Média* (min)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	82,21 A	2,89	207 A	2,05	265,8 A	9,50
<i>Eucalyptus robusta</i>	85,44 A	1,12	200 A	7,77	305,6 B	4,18
<i>Eucalyptus urophylla</i>	85,25 A	1,30	199 A	5,40	305,6 B	4,71
<i>Eucalyptus citriodora</i>	82,94 A	2,96	190 A	4,68	283,2 A B	7,22

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias para cada espécie ao nível de 95% de probabilidade. * = Médias obtidas de quatro repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Tomando-se como base essas duas variáveis (temperatura e tempo de hidratação), poderia se afirmar que o CaCl_2 (4%) eliminou a diferença entre as quatro espécies, colocando-as em igualdade de condições para utilização em chapas de cimento-madeira. Porém, observando os dados de resistência à compressão axial (tabela 14), pode-se verificar que as espécies *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla*, continuaram a produzir as melhores médias, repetindo a mesma tendência ocorrida anteriormente, ou seja, quando não se utilizou aditivos. Neste caso, o efeito do aditivo na propriedade mecânica foi proporcional ao ocorrido quando não se utilizou aditivo, ou seja, o aditivo melhorou a resistência, mas praticamente manteve as diferenças entre as espécies. Nota-se apenas, que ocorreu uma recuperação na espécie *Eucalyptus citriodora*, que passou a ter uma igualdade estatística com as espécies *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla*.

FIGURA 34 - EVOLUÇÃO DA HIDRATAÇÃO DA PASTA DE CIMENTO ARI COMBINADO COM PARTÍCULAS DE GRANULOMETRIAS PI OBTIDAS DAS QUATRO ESPÉCIES DE EUCALIPTO MAIS A ADIÇÃO DE CaCl_2 (4%)



4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS

4.4.1 EFEITO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS, ADITIVOS E ESPÉCIES

Como a metodologia previa, os estudos realizados anteriormente, sobre granulometria, aditivos, percentual de aditivos e espécies, seriam novamente realizados utilizando, desta vez, como parâmetros de avaliação, as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. O objetivo principal de refazer esses estudos, foi verificar se as tendências observadas nas análises de termometria e compressão axial, eram as mesmas para as propriedades dos painéis. A apresentação dos

resultados está dividida em três seções, em função da natureza dos tratamentos pesquisados, desta forma eles estão, assim, dispostos:

- A. Efeito da granulometria de partículas;
- B. Efeito dos aditivos;
- C. Efeito da espécie.

A. Efeito da granulometria de partículas

A partir das análises e interpretação dos resultados anteriores, decidiu-se por utilizar no estudo da granulometria de partículas, apenas duas espécies (*E. urophylla* e *E. citriodora*) e, três granulometrias (R2,08, PI e FINOS). As razões já foram discutidas em material e métodos (item 3.4.1.1).

No processo de produção dos painéis, a utilização de aditivos, especialmente os aceleradores de pega, já é uma rotina imprescindível. Assim, nesta pesquisa, empregou-se, mesmo para se avaliar o efeito da granulometria o aditivo CaCl_2 .

Para todos os tratamentos testados foi determinado a massa específica de cada painel. Como para cada tratamento se confeccionou três painéis, obteve-se assim uma média de massa específica, que pode ser observada na tabela 15. As médias foram consideradas estatisticamente iguais.

Através da tabela 16, observa-se os resultados obtidos para as propriedades de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) na flexão. Os dados de todas as propriedades estudadas, foram analisados considerando que cada granulometria fosse um tratamento, portanto as diferenças apontadas pela ANOVA (ANEXO 2) se referem a seis tratamentos, incluindo, desta forma, as duas espécies como fonte de variação.

TABELA 15 - MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DAS CHAPAS PARA CADA TRATAMENTO REALIZADO DENTRO DO ESTUDO DE GRANULOMETRIA

TRATAMENTO		MASSA ESPECÍFICA* (g/cm ³)	CV (%)
<i>Eucalyptus citriodora</i>	R2,08	1,08 ^A	8,7
	PI	1,09 ^A	7,0
	FINOS	1,08 ^A	3,7
<i>Eucalyptus urophylla</i>	R2,08	1,07 ^A	6,8
	PI	1,10 ^A	6,0
	FINOS	1,11 ^A	6,7

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; CV = Coeficiente de Variação; * = Média de 3 repetições.

Nota-se na tabela 16, que não ocorreram diferenças estatísticas entre as granulometrias dentro de uma mesma espécie, ou seja, a variação granulométrica não alterou os resultados de MOE e MOR. A diferença ocorrida, está assim relacionada, com a espécie propriamente dita.

Como pode ser observado na referida tabela, a espécie *Eucalyptus urophylla*, apresentou as melhores médias para as duas variáveis (MOE e MOR). O melhor resultado desta espécie, confirma os observados anteriormente nos testes de termometria e compressão axial.

O efeito da variação granulométrica dessas duas espécies é que não se repetiu nestas duas propriedades. A granulometria FINOS foi responsável pelo advento de médias mais indesejáveis, especialmente, para a variável índice de inibição (figura 27). Desta forma indaga-se, porque essas diferenças não transpareceram nessas variáveis (MOE e MOR)? Para a espécie *Eucalyptus urophylla* a resposta pode estar relacionada ao baixo índice de inibição alcançado pela granulometria FINOS (7,43%), mesmo sendo ele o mais elevado dentre as cinco estudadas, aliado ao uso do CaCl₂ (3%) na composição das chapas. Para a

espécie *Eucalyptus citriodora*, que obteve um índice de inibição preocupante para a granulometria FINOS (29,2%), a igualdade de médias possivelmente pode ter advindo do efeito proporcionado pelo uso do CaCl_2 (3%). O que provavelmente ocorreu, foi que esse aditivo neutralizou o efeito inibidor causado por essa granulometria.

TABELA 16 - EFEITO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DAS ESPÉCIES *E. citriodora* E *E. urophylla* SOBRE O MOE E O MOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.

ESPÉCIE	GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS	FLEXÃO ESTÁTICA			
		MOE		MOR	
		Média* (kgf/cm ²)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus citriodora</i> (SP4)	R2,08	11069,67 A	41,02	23,13 A	45,18
	PI	15836,68 A	35,19	27,79 A	28,28
	FINOS	18327,45 A B	17,61	33,20 A B	28,94
<i>Eucalyptus urophylla</i> (SP3)	R2,08	24868,46 B	35,22	45,66 B C	23,43
	PI	25989,02 B	36,45	50,92 C	26,00
	FINOS	26485,11 B	31,52	50,36 C	36,00

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de 12 repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Os esforços ocorridos na flexão, estão relacionados mais com a compactação da chapa, do que, propriamente dito, com as granulometrias das partículas. Esta, inclusive, pode ter sido a razão para que a espécie *Eucalyptus citriodora*, não tenha apresentado resultados estatisticamente superior ou igual a espécie *Eucalyptus urophylla*. Por apresentar uma densidade maior, essa espécie desenvolveu uma razão de compactação muito baixa.

Estas tendências não se repetiram nas variáveis compressão paralela e ligação interna, como pode ser observado através da tabela 17.

TABELA 17 - EFEITO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DAS ESPÉCIES *E. citriodora* E *E. urophylla* SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA E A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS	COMPRESSÃO PARALELA		LIGAÇÃO INTERNA	
		Média* (kgf/cm ²)	CV (%)	Média** (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus citriodora</i> (SP4)	R2,08	34,64 A	26,4	3,59 B	25,40
	PI	38,85 A B	25,3	3,51 B	38,19
	FINOS	40,76 A B	38,2	3,32 A B	24,96
<i>Eucalyptus urophylla</i> (SP3)	R2,08	39,55 A B	21,7	5,20 C	31,67
	PI	59,82 C	32,4	5,50 C	30,94
	FINOS	53,49 B C	34,1	2,27 A	38,99

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de 12 repetições; ** = Médias obtidas de 18 repetições CV = Coeficiente de Variação.

Na variável compressão paralela ocorreram diferenças estatísticas entre os valores médios das granulometrias de partículas, somente dentro da espécie *Eucalyptus urophylla*. Na espécie *Eucalyptus citriodora*, a tendência ocorrida para as variáveis MOE e MOR se repetiram na variável compressão paralela. A granulometria FINOS dessa espécie apresentou a maior média absoluta, contrariando os resultados encontrados na termometria e compressão. Este resultado pode até parecer inesperado, mas o efeito da granulometria pode ter sido ocultado pela ação do aditivo CaCl₂ (3%).

Nota-se ainda, na Tabela 17, que a variável compressão paralela teve um comportamento para a espécie *Eucalyptus urophylla* muito semelhante ao ocorrido

com a variável compressão axial (tabela 9). Isso pode ter ocorrido possivelmente pelo fato das granulometrias, nessa espécie, apresentarem índices de inibição compatíveis. Porém, observa-se que as granulometrias de menor tamanho, apresentaram as melhores médias, confirmando informação de PRESTMON (**apud** SORFA e BONGERS, 1982).

A propriedade de ligação interna foi afetada pela variação granulométrica das partículas e também pela espécie (tabela 17). Pôde-se observar, durante os ensaios, que os corpos de prova dos painéis formados com granulometrias menores, especialmente FINOS, eram facilmente rompidos próximo a linha mediana, oferecendo assim, baixa resistência à tração. O fato da granulometria FINOS gerar um maior volume de partículas explica esse fenômeno. Isso ocorre porque, aumentando-se o volume de madeira e mantendo-se a mesma quantidade de aglomerante, o entrelaçamento físico entre a partícula e a matriz de cimento fica comprometido resultando em forças de adesão inferiores.

De uma maneira geral, as médias absolutas de compressão paralela e ligação interna, foram melhores para espécie *Eucalyptus urophylla* do que para a *Eucalyptus citriodora*. A tendência observada durante os ensaios de termometria e compressão axial, fica, neste aspecto, mantida.

Dentre as propriedades físicas pesquisadas, somente a absorção de água em 2 e 24 h, sofreram efeitos significativos da variação granulométrica (tabela 18). Especialmente a granulometria FINOS resultou em médias relativas altas. Isto está relacionado ao fato de uma maior área específica, que as granulometrias menores proporcionam. Assim, a possibilidade de retenção de água aumenta, já que a absorção é facilitada.

TABELA 18 - EFEITO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DAS ESPÉCIES *E. citriodora* E *E. urophylla* SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS	ABSORÇÃO DE ÁGUA			
		2 h		24 h	
		Média* (%)	CV (%)	Média* (%)	CV (%)
<i>Eucalyptus citriodora</i> (SP4)	R2,08	11,18 A	3,55	13,74 A	2,85
	PI	13,21 A	3,71	14,70 A B	2,69
	FINOS	18,00 B	5,01	19,38 C	3,64
<i>Eucalyptus urophylla</i> (SP3)	R2,08	13,37 A	3,93	16,71 A B C	3,32
	PI	14,77 A B	4,17	17,74 B C	4,06
	FINOS	34,28 C	14,23	35,19 D	14,11

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de seis repetições; CV = Coeficiente de Variação.

As variáveis inchamento em espessura 2 e 24 h, não foram afetadas pela variação granulométrica (tabela 19). Essas propriedades são extremamente insensíveis, uma vez que a matriz de cimento, impede, com muita eficácia, a movimentação volumétrica e linear dos painéis. Desta forma, pode-se esperar que o efeito da granulometria seja rejeitado ou neutralizado.

B. Efeito dos aditivos

A tabela 20 apresenta os resultados médios da massa específica dos painéis para cada tratamento realizado. Nota-se a igualdade estatística entre as médias.

Nos ensaios de termometria e compressão axial, estudou-se o efeito de quatro aditivos químicos e um mineral, e, ainda, o efeito da variação percentual do aditivo químico. Dentre os quatro químicos pesquisados, o CaCl_2 , foi o que obteve o

melhor resultado, enquanto que, o aditivo Na_2SiO_3 , foi aquele que obteve o resultado mais insatisfatório. De acordo com a metodologia previamente estipulada, estes dois aditivos foram novamente utilizados na fase de manufatura dos painéis. Na fase anterior, ficou também evidente, que o percentual de 4%, foi responsável por melhores resultados, e que, a microssílica (10%) combinada com CaCl_2 (3%), teve também, um desempenho desejado. Pôde-se também observar que o percentual de 3% de CaCl_2 , não levou a resultados tão inferiores ao percentual de 4%. Deste modo, optou-se também por utilizar este percentual para avaliar a manutenção das diferenças.

TABELA 19 - EFEITO DA VARIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DAS ESPÉCIES *E. citriodora* E *E. urophylla* SOBRE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS	INCHAMENTO EM ESPESSURA			
		2 h		24 h	
		Média* (%)	CV (%)	Média* (%)	CV (%)
<i>Eucalyptus citriodora</i> (SP4)	R2,08	1,67 A	22,4	2,30 A	27,6
	PI	1,59 A	16,9	1,69 A	17,6
	FINOS	1,96 A	11,2	2,15 A	13,9
<i>Eucalyptus urophylla</i> (SP3)	R2,08	1,99 A	17,3	2,43 A	14,8
	PI	1,54 A	28,4	1,87 A	21,8
	FINOS	2,02 A	20,2	2,18 A	22,7

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de seis repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Assim, nesta etapa, optou-se por uma combinação de fatores que resultaram em quatro tratamentos. Tais fatores englobam o tipo de aditivo e ainda o seu percentual. A espécie escolhida para a manufatura das chapas foi *Eucalyptus urophylla*, exatamente por apresentar os melhores resultados.

TABELA 20 - MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DAS CHAPAS PARA CADA TRATAMENTO REALIZADO DENTRO DO ESTUDO DE ADITIVOS

TRATAMENTO		MASSA ESPECÍFICA* (g/cm ³)	CV (%)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	CaCl ₂ (3%)	1,10 ^A	6,0
	CaCl ₂ (4%)	1,14 ^A	3,6
	Na ₂ SiO ₃ (3%)	1,10 ^A	3,6
	CaCl ₂ (4%) + MS (10%)	1,10 ^A	4,7

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; CV = Coeficiente de Variação; * = Média de 3 repetições.

De forma geral, pode-se observar, através das tabelas 21 e 22 que a tendência dos resultados ocorridas na primeira fase (termometria e compressão axial), se repetiram nas propriedades mecânicas dos painéis.

Tanto o MOE quanto o MOR seguiram uma tendência, tendo o CaCl₂ (4%) o aditivo com médias estatisticamente superiores às demais. Assim, percebe-se, que tanto o aditivo, como o seu percentual, tiveram influência para que melhores resultados fossem alcançados, nessas duas propriedades. Estes resultados são compatíveis com os encontrados por NAMIOKA et al. (1976), citado por MOSLEMI e PFISTER (1987). Esses pesquisadores documentaram que a resistência a flexão teve um aumento significativo quando se incorporou CaCl₂ à 3% na manufatura de chapas, comparando-se a percentuais menores.

O aditivo Na₂SiO₃ manteve o pior desempenho e gerou as menores médias absolutas nas variáveis MOE e MOR (tabela 21). O desempenho da combinação de aditivos (químico+mineral) manteve-se semelhantemente ao ocorrido na fase anterior, ou seja, obteve resultados inferiores ao CaCl₂ (4%).

TABELA 21 - EFEITO DE ADITIVOS SOBRE O MOE E O MOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE *E. urophylla*

ESPÉCIE	ADITIVO (%)	FLEXÃO ESTÁTICA					
		MOE			MOR		
		Média* (kgf/cm ²)		CV (%)	Média* (kgf/cm ²)		CV (%)
<i>Eucalyptus urophylla</i> (SP3)	CaCl ₂ (3)	25989,0	B	36,45	50,92	B	26,00
	CaCl ₂ (4)	34650,9	c	13,56	69,62	c	12,59
	Na ₂ SiO ₃ (3)	15597,2	A	30,14	36,53	A	23,08
	CaCl ₂ (4) + MS (10)	23866,4	B	22,62	50,47	B	19,29

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de 12 repetições; CV = Coeficiente de Variação

Somente na variável compressão paralela é que o CaCl₂ (4%) não foi, isoladamente, considerado o mais adequado (tabela 22). Este aditivo também produziu médias superiores com um percentual de 3%. Esta igualdade, estatística, foi observada também no ensaio de compressão axial (tabela 11). Porém, não se pode afirmar que a variação percentual de CaCl₂, não interfere nos resultados de compressão, isto porque, na fase anterior com percentual de 2% obteve-se médias inferiores ao percentual de 4%. MEHTA e MONTEIRO (1994), relatam que a variação de 0,5 à 2% de CaCl₂ promovem uma elevação substancial na resistência à compressão, podendo, esta, chegar até 100%. Desta forma, estudos com percentuais acima de 4%, poderiam revelar se esse percentual é o limite para que modificações ocorram na propriedade de compressão.

Na ligação interna, o aditivo CaCl₂ (4%), revelou média estatisticamente maior (tabela 22). Nesta propriedade a eficiência do CaCl₂ foi a mais relevante, visto que, os dois melhores resultados foram apresentados por este aditivo, diferenciando-se apenas o percentual utilizado.

TABELA 22 - EFEITO DE ADITIVOS SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA E A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE *E. urophylla*

ESPÉCIE	ADITIVO (%)	COMPRESSÃO PARALELA		LIGAÇÃO INTERNA	
		Média* (kgf/cm ²)	CV (%)	Média** (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>Eucalyptus urophylla</i> (SP3)	CaCl ₂ (3)	59,82 A B	32,4	5,50 B	30,94
	CaCl ₂ (4)	66,86 A	27,9	6,76 A	23,01
	Na ₂ SiO ₃ (3)	34,95 c	28,0	2,87 c	29,16
	CaCl ₂ (4) + MS (10)	49,98 B C	21,1	3,04 c	23,40

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de 12 repetições; ** = Médias obtidas de 18 repetições CV = Coeficiente de Variação

A elevação do percentual de 3 para 4%, provocou uma elevação da resistência à tração, assim como também ocorreu para outras propriedades mecânicas. Isto provavelmente aconteceu porque aumentando-se a quantidade de aceleradores solúveis ao sistema cimento+água, segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), é possível admitir que essa adição é capaz de influenciar na velocidade de ionização dos compostos do cimento, ou na velocidade de cristalização dos produtos de hidratação, afetando, em consequência, as características de pega e endurecimento do compósito.

Com estes resultados, pode-se deduzir que os ensaios realizados na fase anterior (termometria e compressão axial), desenvolvem bons indicativos para a utilização de aditivos e seu percentual, na manufatura de painéis. Assim resultados produzidos na termometria e compressão axial refletirão a tendência para propriedades mecânicas.

A propriedade de absorção de água após 2 e 24 h também sofreu influência dos tratamentos, especialmente do tipo de aditivo utilizado. Mais uma vez, o CaCl_2 foi responsável pelos melhores resultados (tabela 23). É certo que havendo uma cristalização maior da matriz de cimento, é portanto, esperado que médias relativas inferiores de absorção de água, fossem alcançadas pelo aditivo que melhor desenvolveu esta reação. Assim, o CaCl_2 (4%) obteve o melhor desempenho.

TABELA 23 - EFEITO DE ADITIVOS SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE *E. urophylla*

ESPÉCIE	ADITIVO (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA			
		2 h		24 h	
		Média* (%)	CV (%)	Média* (%)	CV (%)
<i>Eucalyptus urophylla</i> (SP3)	CaCl_2 (3)	14,77 B	4,17	17,74 A	4,06
	CaCl_2 (4)	12,90 A	6,67	16,21 A	6,18
	Na_2SiO_3 (3)	22,96 D	4,12	25,83 c	3,85
	CaCl_2 (4) + MS (10)	18,43 c	7,15	22,19 B	6,20

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de seis repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Na tabela 24 pode-se observar que as variáveis físicas de inchamento em espessura após 2 e 24 h, não sofreram interferência diferenciada entre os aditivos aplicados. Como anteriormente explicado, essa variável é muito pouco influenciada em função da proteção oferecida pela matriz de cimento, que envolve as partículas. Mesmo assim, as melhores médias relativas, foram obtidas pelo aditivo CaCl_2 (4%).

TABELA 24 - EFEITO DE ADITIVOS SOBRE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE *E. urophylla*

ESPÉCIE	ADITIVO (%)	INCHAMENTO EM ESPESSURA			
		2 h		24 h	
		Média* (%)	CV (%)	Média* (%)	CV (%)
<i>Eucalyptus urophylla</i> (SP3)	CaCl ₂ (3)	1,54 A	28,38	1,87 A	21,76
	CaCl ₂ (4)	1,28 A	17,67	1,64 A	23,37
	Na ₂ SiO ₃ (3)	1,77 A	17,75	1,93 A	16,59
	CaCl ₂ (4) + MS (10)	1,87 A	24,25	2,16 A	23,67

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de seis repetições; CV = Coeficiente de Variação.

C. Efeito da espécie

Para avaliar o efeito da espécie sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, todos os outros fatores, tais como, tipo de cimento, granulometria, aditivos e percentual de aditivos, foram fixados, evidentemente, com base nos resultados anteriores. Assim, os tratamentos considerados como ideais, foram empregados, neste instante. Definiu-se como ideal, o cimento ARI, a granulometria PI e o aditivo CaCl₂ (4%). Todos os painéis produzidos na avaliação do efeito da espécie, foram manufaturados com estas variáveis.

Na tabela 25, estão apresentadas as médias de massa específica dos painéis para cada espécie. A ANOVA (ANEXO 2) comprovou a hipótese da nulidade.

Os resultados obtidos nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis para as quatro espécies, foram compatíveis com os resultados de termometria (tempo, temperatura de hidratação e índice de inibição) e compressão axial, obtidos na fase anterior.

TABELA 25 - MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DAS CHAPAS PARA CADA TRATAMENTO REALIZADO DENTRO DO ESTUDO DE ESPÉCIE

TRATAMENTO		MASSA ESPECÍFICA* (g/cm ³)	CV (%)
<i>Eucalyptus pellita</i>	(SP ₁)	1,11 ^A	4,0
<i>Eucalyptus robusta</i>	(SP ₂)	1,10 ^A	4,5
<i>Eucalyptus urophylla</i>	(SP ₃)	1,14 ^A	3,6
<i>Eucalyptus citriodora</i>	(SP ₄)	1,09 ^A	6,3

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; CV = Coeficiente de Variação; * = Média de 3 repetições.

A espécie que obteve o melhor resultado foi *Eucalyptus urophylla* e o pior *Eucalyptus citriodora*. As outras duas espécies tiveram um desempenho intermediário.

Nas propriedades MOE e MOR na flexão, a espécie *Eucalyptus urophylla* apresentou médias estatisticamente superiores a todas as outras (tabela 26). O valor absoluto de MOE de 34.650,93 kgf/cm² é considerado um valor comparado aos obtidos no processo industrial. No processo BISON (1978) de produção de painéis de cimento-madeira o valor mínimo estipulado para MOE na flexão é 30.000,00 kgf/cm². SOUZA (1994) obteve uma média de MOE muito próxima da obtida pela espécie *Eucalyptus urophylla*, nesta pesquisa. Tal média foi de 34.670,35 kgf/cm². A média da espécie *Eucalyptus urophylla*, é, ainda, superior à encontrada por DEL MENEZZI e SOUZA (2000), utilizando a variedade *E. grandis* x *E. urophylla* (30.591,49 kgf/cm²).

LEE (1984) encontrou média de 15783,91 kgf/cm² para MOE empregando uma espécie de pinus do sul dos Estados Unidos. Em outra pesquisa LEE e SHORT (1989) encontraram, para a espécie "Cottonwood", média de 8858,67 kgf/cm² utilizando CaCl₂ (3%).

TABELA 26 - EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE O MOE E O MOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	FLEXÃO ESTÁTICA			
	MOE		MOR	
	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>E. pellita</i> (SP ₁)	28.474,64 B	22,0	50,87 B	20,3
<i>E. robusta</i> (SP ₂)	26.558,72 B	17,0	46,78 A B	27,4
<i>E. urophylla</i> (SP ₃)	34.650,93 c	13,6	69,62 c	12,6
<i>E. citriodora</i> (SP ₄)	18.754,94 A	25,2	36,02 A	29,1

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de 12 repetições; CV = Coeficiente de Variação.

O MOR da espécie *Eucalyptus urophylla* (69,62 kgf/cm²), apesar de estar abaixo das exigências do processo BISON (1978), ainda é superior a resultados encontrados na literatura. Por exemplo, LEE (1984) encontrou um valor de 39,86 kgf/cm², SOUZA (1994) 60,77 kgf/cm², LATORRACA (1996) 47,94 kgf/cm² e DEL MENEZZI e SOUZA (2000) 42,83 kgf/cm².

As tendências observadas para as variáveis compressão paralela e ligação interna, foram relativamente iguais (tabela 27). A maior média absoluta da variável compressão paralela foi produzida pela espécie *Eucalyptus urophylla*, enquanto que para ligação interna foi *Eucalyptus robusta*, apesar de que estas médias foram estatisticamente iguais às médias produzidas por chapas manufaturadas com a espécie *Eucalyptus pellita*. Novamente, as propriedades de chapas produzidas com a espécie *Eucalyptus citriodora* não resultaram em médias absolutas superiores às demais. Esta espécie produziu médias de compressão paralela e ligação interna iguais estatisticamente, às médias da espécie *Eucalyptus pellita*. Nota-se, que o resultado obtido na variável compressão axial, na fase inicial (tabela 13), repetiu-se

para a variável compressão paralela, ou seja, as espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus citriodora* obtiveram as médias mais baixas.

TABELA 27 - EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA E A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	COMPRESSÃO PARALELA		LIGAÇÃO INTERNA	
	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)	Média** (kgf/cm ²)	CV (%)
<i>E. pellita</i> (SP ₁)	48,87 A B	34,5	5,91 A B	23,3
<i>E. robusta</i> (SP ₂)	66,05 B	23,0	7,07 B	15,1
<i>E. urophylla</i> (SP ₃)	66,86 B	27,9	6,76 B	23,0
<i>E. citriodora</i> (SP ₄)	40,37 A	42,6	4,82 A	43,4

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de 12 repetições; ** = Médias obtidas de 18 repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Os resultados obtidos para ligação interna, observados na tabela 27, foram excelentes, considerando a exigência mínima requerida pelo processo BISON (1978), que é de 4,0 kgf/cm². Porém, estas médias estão abaixo da encontrada por VALENZUELA (1989), que foi de 11,47 kgf/cm². Mesmo assim, estes valores estão acima de algumas médias encontradas na literatura. Por exemplo, DEL MENEZZI e SOUZA (2000) encontraram uma média de 2,88 kgf/cm² para eucalipto variedade urograndis sem a inclusão de casca, e quando a incluíram a média foi de 4,31 kgf/cm².

As propriedades físicas de absorção de água 2 e 24 h, apresentaram uma tendência idêntica para os dois tempos (tabela 28). As médias mais baixas de absorção, tanto para 2 como 24 h, foram obtidas em painéis que utilizaram as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora*. Foi a única propriedade em

que a espécie *Eucalyptus citriodora* teve um desempenho superior estatisticamente. As médias obtidas são baixas, especialmente quando comparadas com resultados de outros tipos de painéis, como por exemplo, o aglomerado convencional. Os resultados alcançados estão abaixo dos encontrados por SOUZA (1994) e DEL MENEZZI e SOUZA (2000), que foram 38% e 23,5%, respectivamente, após 24 h de imersão.

TABELA 28 - EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	ABSORÇÃO DE ÁGUA			
	2 h		24 h	
	Média* (%)	CV (%)	Média* (%)	CV (%)
<i>E. pellita</i> (SP ₁)	15,86 B	2,3	20,27 B	2,9
<i>E. robusta</i> (SP ₂)	18,74 c	6,5	22,22 c	5,7
<i>E. urophylla</i> (SP ₃)	12,90 A	6,7	16,21 A	6,2
<i>E. citriodora</i> (SP ₄)	14,13 A	3,5	15,69 A	3,6

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de seis repetições; CV = Coeficiente de Variação.

O efeito da espécie não proporcionou médias diferenciadas de inchamento em espessura, tanto para 2 como 24 h de imersão (tabela 29). Na realidade esta propriedade física não foi afetada por nenhum tratamento pesquisado. Como referido anteriormente essa variável é muito pouca influenciada em função da proteção oferecida pela matriz de cimento, que envolve as partículas. Ainda assim, as menores médias relativas foram desenvolvidas quando se manufacturou painéis com a espécie *Eucalyptus urophylla*. As médias estão bem próximas das médias máximas exigidas pelo processo BISON (1978), ou seja, para 2 h um valor relativo de 0,8% e para 24 h de 1,8%.

TABELA 29 - EFEITO DA ESPÉCIE SOBRE INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 2 h E 24 h DE IMERSÃO DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

ESPÉCIE	INCHAMENTO EM ESPESSURA			
	2 h		24 h	
	Média* (%)	CV (%)	Média* (%)	CV (%)
<i>E. pellita</i> (SP ₁)	1,75 A	17,7	2,12 A	20,6
<i>E. robusta</i> (SP ₂)	1,71 A	18,1	2,10 A	20,0
<i>E. urophylla</i> (SP ₃)	1,28 A	17,7	1,64 A	23,4
<i>E. citriodora</i> (SP ₄)	1,64 A	23,8	1,73 A	36,4

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de seis repetições; CV = Coeficiente de Variação.

Apesar das tendências ocorridas entre as espécies na primeira fase (termometria e compressão axial) terem praticamente se repetido nas propriedades dos painéis, não ficaram claras ainda as razões do porque ocorreram diferenças entre elas.

O fato de *Eucalyptus citriodora* ter apresentado o pior resultado dentre as quatro estudadas, pode ser justificado, principalmente, por essa espécie apresentar a mais elevada massa específica. Um menor volume de partículas, gerou uma baixa taxa de compactação. Como a granulometria PI, dessa espécie, apresentou um baixo índice de inibição, a influência química teve pouca contribuição nos resultados. Alias, isso pôde ser comprovado pelos resultados das análises químicas que, de maneira geral, a solubilidade dos extrativos não foi a mais elevada.

Já as diferenças ocorridas entre as outras três espécies não pode ser atribuída a massa específica, isto porque estatisticamente elas são iguais. Também os resultados das análises químicas não contribuíram. Pode-se observar, que a espécie *Eucalyptus urophylla*, que obteve, em geral, os melhores resultados de

propriedades físicas e mecânicas, entre todas as espécies, apresentou valores mais elevados de extrativos totais. Também essa espécie proporcionou as maiores médias relativas dos extrativos solúveis em água fria (1,939%), em água quente (2,9734%), em NaOH (15,5013%) e álcool (2,6267%). Apesar disso, o índice de inibição dessa espécie foi mais baixo que das espécies *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus citriodora*.

As análises químicas realizadas não foram suficientes para explicar as diferenças ocorridas entre as espécies. Provavelmente isto aconteceu porque somente os valores quantitativos dos extratos não indicaram as razões das diferenças. Assim, seria necessário a realização de análises químicas que determinassem qual ou quais elementos químicos estão presentes nos extratos de cada espécie. Essa análise química mais apurada poderia revelar a influência química que cada uma das espécies proporcionou às propriedades dos painéis.

HACHMI e MOSLEMI (1989), discutiram o fato das análises quantitativas de extratos não indicarem com precisão as razões dos efeitos químicos dos extrativos da madeira sobre a solidificação do cimento. Esses pesquisadores chegaram a conclusão que é importante se conhecer as substâncias que compõem os extrativos, e não só a proporção. Assim, a teoria de que quanto maior for o teor de extrativo maior será a inibição, não se aplica em todos os casos.

4.4.2 EFEITO DA CURA A VAPOR

O objetivo deste estudo, como previsto na metodologia, foi obter um incremento nas propriedades mecânicas dos painéis, produzidos sob as melhores condições, ou seja, painéis manufaturados com a melhor combinação de cimento,

espécie, granulometria, aditivo e com a concentração ideal deste. Além desse objetivo, procurou-se verificar se através da cura à vapor seria possível reduzir o tempo de maturação dos painéis, de modo que os mesmos possam ser utilizados em períodos inferiores a 28 dias. Baseados nos resultados anteriores as seguintes variáveis foram selecionadas:

- Cimento: ARI
- Espécie: *Eucalyptus urophylla*;
- Granulometria: PI;
- Aditivo: CaCl_2 ;
- Quantidade do aditivo: 4% (Com base no peso seco do cimento)

Todas as outras variáveis foram mantidas, ou seja, relação madeira:cimento, relação água:cimento, pressão específica de prensagem, etc.

A tabela 30 apresenta os resultados médios da massa específica dos painéis para cada tratamento realizado.

TABELA 30 - MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DAS CHAPAS PARA CADA TRATAMENTO REALIZADO DENTRO DO ESTUDO DE CURA À VAPOR

TRATAMENTO			MASSA ESPECÍFICA* (g/cm ³)	CV (%)
Processo de cura	Tipo II	T ₁ V ₂₄ E ₂₈	1,09 ^A	4,2
		T ₂ V ₁₀ E ₂₈	1,10 ^A	4,2
		T ₃ V ₀₃ E ₂₈	1,11 ^A	3,8
		T ₄ V ₁₀ E ₁₄	1,10 ^A	5,2
		T ₅ V ₀₃ E ₀₇	1,13 ^A	4,0
	Tipo I	T ₆ V ₀₀ E ₂₈	1,14 ^A	3,6
		T ₇ V ₀₀ E ₁₄	1,09 ^A	5,8
		T ₈ V ₀₀ E ₀₇	1,09 ^A	3,8

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; CV = Coeficiente de Variação; * = Média de 3 repetições.

Através das tabelas 31 e 32, observa-se os tratamentos realizados neste estudo. O tratamento T_6 ($V_{00}E_{28}$) é o tratamento referência (testemunha). Neste tratamento as chapas foram curadas em câmara climática (V_{00}) e os ensaios foram realizados no 28^o dia (E_{28}). A partir do mesmo, pôde-se verificar se ocorreram modificações nas médias de propriedades mecânicas dos painéis, em função da aplicação do vapor durante o processo de cura.

TABELA 31 - EFEITO DA CURA SOBRE O MOE E O MOR DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA.

TRATAMENTO			FLEXÃO ESTÁTICA			
			MOE		MOR	
			Média* (kgf/cm ²)	CV (%)	Média* (kgf/cm ²)	CV (%)
Processo de cura	Tipo II	T_1 $V_{24}E_{28}$	24079,96 A B	29,6	29,64 A	18,9
		T_2 $V_{10}E_{28}$	28652,58 B C	21,1	40,86 B	12,7
		T_3 $V_{03}E_{28}$	30795,70 B C	24,4	57,38 C	15,5
		T_4 $V_{10}E_{14}$	29281,41 B C	26,5	37,92 A B	21,2
		T_5 $V_{03}E_{07}$	27172,61 B C	17,9	40,95 B	18,9
	Tipo I	T_6 $V_{00}E_{28}$	34650,93 C	13,6	69,62 D	12,6
		T_7 $V_{00}E_{14}$	23512,43 A B	26,7	45,37 B	25,7
		T_8 $V_{00}E_{07}$	16920,12 A	33,8	43,38 B	26,6

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de 12 repetições; ** = Médias obtidas de 18 repetições; CV = Coeficiente de Variação; V_n = dias de vaporização; E_n = N^o dias para o ensaio

Para as propriedades mecânicas MOE e MOR, observadas na tabela 31, verifica-se que quando não se curou os painéis a vapor (T_6 , T_7 e T_8), as médias obtidas em períodos de maturação de 14 e 7 dias, foram inferiores, estatisticamente, à testemunha (T_6 – ensaio com 28 dias). Isto significa que, mesmo utilizando o cimento ARI (cimento de alta resistência inicial), a resistência dos painéis até o 14^o

dia não equiparou-se a resistência obtida no 28^o dia. Assim, somente o emprego de um cimento de pega e endurecimento rápido, não foi suficiente para reduzir o tempo de maturação das chapas. Esta mesma tendência foi, também, observada para as variáveis compressão paralela e ligação interna, como pode ser observada na tabela 32.

Observando ainda a tabela 31, verifica-se que a cura a vapor provocou efeitos diferenciados sobre as propriedades de MOE e MOR. Nota-se, que para o MOE, vaporizando as chapas durante 10 ou 3 dias (T_2 , T_3 , T_4 e T_5), independente do número de dias em que os corpos-de-prova dos painéis foram ensaiados (28^o, 14^o ou 7^o dia), os resultados foram estatisticamente equivalentes aos obtidos pela testemunha. Isto significa que a vaporização dos painéis reduziu o período de maturação dos mesmos, ou seja, aplicando-se uma cura a vapor pode-se obter médias de resistência de MOE no 7^o dia equivalentes às obtidas no 28^o dia. Assim, não é necessário esperar 28 dias para que os painéis sejam utilizados. Neste caso seria muito interessante curar as chapas a vapor (60 °C) durante 3 dias e empregá-las a partir do 7^o, isto porque, sob essa condição, se teria a maximização do tempo de cura (menor consumo de energia) e também a maximização do período de maturação (menor período de estocagem).

Isso também ocorreu com a variável compressão paralela (tabela 32). Apenas que, a resistência obtida para a testemunha (T_6), só foi equiparável aos tratamentos com painéis que tinham idades não inferiores a 14 dias (T_2 , T_3 e T_4), ou seja, dentre aqueles tratamentos que receberam cura a vapor, somente os painéis que foram ensaiados com as idades de 14 e 28 dias obtiveram médias iguais estatisticamente as chapas do tratamento T_6 (testemunha), excluindo-se, desta forma, a idade de 7

dias. Portanto, em se tratando de compressão paralela, os painéis só poderiam ser utilizados a partir do 14^o dia, isso após ficarem expostos a uma cura a vapor por 10 dias.

TABELA 32 - EFEITO DA CURA SOBRE A COMPRESSÃO PARALELA E A LIGAÇÃO INTERNA DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA

TRATAMENTO			COMPRESSÃO PARALELA		LIGAÇÃO INTERNA	
			Média* (kgf/cm ²)	CV (%)	Média** (kgf/cm ²)	CV (%)
Processo de cura	Tipo II	T ₁ V ₂₄ E ₂₈	38,11 A	26,6	2,29 A	36,4
		T ₂ V ₁₀ E ₂₈	51,35 A B C	35,9	3,50 B	34,4
		T ₃ V ₀₃ E ₂₈	55,69 B C	25,8	4,86 C	20,6
		T ₄ V ₁₀ E ₁₄	50,68 A B C	33,8	4,81 C	23,8
		T ₅ V ₀₃ E ₀₇	43,46 A B	24,4	3,07 A B	40,6
	Tipo I	T ₆ V ₀₀ E ₂₈	66,86 C	27,9	6,76 D	23,0
		T ₇ V ₀₀ E ₁₄	44,61 A B	15,6	2,95 A B	29,6
		T ₈ V ₀₀ E ₀₇	44,59 A B	14,8	2,78 A B	34,7

Letras diferentes denotam diferenças estatísticas entre as médias ao nível de 95% de probabilidade; * = Médias obtidas de 12 repetições; ** = Médias obtidas de 18 repetições; CV = Coeficiente de Variação; V_n = dias de vaporização; E_n = N^o dias para o ensaio

Isto seria interessante se tivesse ocorrido em todas as propriedades. Porém, as variáveis MOR e ligação interna, tabelas 31 e 32, respectivamente, a cura a vapor não acelerou a maturação dos painéis e nem causou um incremento da resistência.

Observando as tabelas 31 e 32, nota-se que a testemunha (T₆) continuou, estatisticamente, apresentando médias de MOR e ligação interna, superiores aos demais tratamentos. Neste caso, foi necessário 28 dias para que a resistência máxima fosse atingida.

Nota-se ainda, que em todas as propriedades mecânicas (tabelas 31 e 32), ao curar as chapas a vapor por um período de 24 dias, as médias produzidas foram sempre inferiores às demais. Provavelmente o motivo que levou as médias reduzirem, foi que a prolongada exposição ao calor deve ter provocado uma degradação da madeira, fazendo com que ocorressem transformações na estrutura química da mesma e afetando a interação cimento-madeira.

De certa forma os resultados das propriedades MOE e compressão paralela não são surpreendentes, pois segundo NEVILLE (1982), elevando-se a temperatura de cura, à pressão atmosférica, aumenta-se a velocidade do endurecimento e resistência do cimento, sendo que, este processo se assemelha ao processo de cura úmida. HUFFAKER (1962), relata também que a cura à vapor acelera a resistência. Segundo este autor, a cura à vapor resulta em resistência de chapas a 24 h igual à resistência das chapas com tempo de maturação de 7 dias que não foram curadas ao vapor.

O fato de uma resposta positiva não ter ocorrida em todas as propriedades têm uma razão de ser. Sendo o cimento utilizado ser de alta resistência inicial, era bem possível que, o efeito de uma cura à vapor, fosse melhor aproveitada, caso a exposição dos painéis, tivesse início assim que os mesmos fossem grampeados. Portanto, assim como se observa na indústria de painéis de cimento-madeira, o período de cura à vapor deve ser iniciado logo que as chapas sejam prensadas. Isto irá fazer com que a alta umidade e temperatura da cura a vapor, estejam agindo desde os primeiros estágios do processo de hidratação do cimento.

5 CONCLUSÕES

Como a pesquisa foi realizada, basicamente, em duas etapas, as conclusões a seguir apresentadas, estão embasadas nos resultados das análises realizadas nas duas fases de coleta de dados, ou seja, a primeira onde se utilizou como variáveis respostas os dados da termometria e compressão axial e, a segunda fase onde se utilizou os dados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Assim, a descrição dessas conclusões estão divididas, inicialmente, por etapas. As conclusões finais são aquelas relacionadas com às tendências apresentadas pelas variáveis estudadas nas duas fases de coletas de dados.

CONCLUSÕES COM BASE NOS RESULTADOS OBTIDOS NA FASE INICIAL DA PESQUISA

(AVALIAÇÃO DA TERMOMETRIA E COMPRESSÃO AXIAL)

1. Dentro das características de resistência à compressão axial e perfil de reação da hidratação, o cimento Portland ARI (Alta Resistência Inicial) é o mais adequado ao uso em chapas de cimento-madeira;
2. Na reação de hidratação, a variável tempo é mais sensível às variações granulométricas de partículas que a variável temperatura de hidratação;
3. A granulometria de partículas tem influência significativa na resistência à compressão axial. A menor granulometria proporciona médias mais elevadas de resistência, desde que o efeito inibidor da partícula não seja elevado;

4. Os índices de inibição apresentados pelas espécies *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora*, permitem concluir que a granulometria finos é responsável pela produção de índices mais elevados;
5. A granulometria PI (50%R1,00 + 50%R0,61) é a mais adequada ao uso, porque em praticamente todas as propriedades, esta granulometria apresentou resultados satisfatórios, além de contemplar a possibilidade do uso de granulometrias combinadas;
6. Dentre os aditivos químicos estudados, o CaCl_2 foi o mais adequado. Este aditivo foi mais eficaz na função de acelerador de pega e endurecimento do cimento, em relação os outros. Por outro lado, o aditivo Na_2SiO_3 foi o que apresentou menor influência na variável tempo de hidratação, agindo como acelerador de pega e endurecimento pouco recomendável;
7. O aumento do percentual de aditivo químico, com base no peso do cimento, resultou numa maior redução do tempo para se atingir a temperatura máxima de hidratação, provocando uma maior elevação da resistência à compressão axial. Assim o percentual de 4% é o mais recomendado;
8. A variação percentual 2 a 4%, do aditivo químico CaCl_2 , praticamente não causou efeito sobre a variável temperatura de hidratação;
9. O efeito da adição do aditivo mineral microssílica não proporcionou resultados equiparáveis aos obtidos quando se utilizou somente o aditivo químico CaCl_2 (%). O aditivo mineral, teve uma influência pouco desejada em todas as variáveis analisadas, especialmente, na variável tempo de hidratação;
10. As espécies *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla*, foram as espécies que apresentaram os melhores resultados de temperatura e tempo de hidratação,

compressão axial e índice de inibição, classificando-as como as mais adequadas ao uso, dentre as quatro;

11. Os índices de inibição encontrados para as quatro espécies são baixos e se enquadram em níveis considerados compatíveis para utilização ao uso em chapas de cimento-madeira;
12. A adição de CaCl_2 (4%) eliminou as diferenças encontradas entre as reações de hidratação (temperatura e tempo de hidratação) proporcionadas por cada espécie, porém, na resistência à compressão axial, essas diferenças foram mantidas.

CONCLUSÕES COM BASE NOS RESULTADOS OBTIDOS NA FASE FINAL DA PESQUISA

(AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS)

1. A variação granulometria das partículas não proporcionou efeito diferenciado significativo nas propriedades de MOE e MOR na flexão estática, para uma mesma espécie;
2. As variáveis compressão paralela e ligação interna sofrem efeitos distintos da variação granulométrica. A diminuição da granulometria resultou em médias superiores de compressão paralela e inferiores de ligação interna. Essa tendência é inversamente proporcional, ou seja, o aumento da granulometria reduz a resistência à compressão mas eleva a de ligação interna;
3. A variação granulometria proporcionou efeito distinto nas duas propriedades físicas. Na absorção de água a granulometria finos foi responsável por médias mais elevadas, sendo inadequada. A variável inchamento em espessura, não

sofre influência da variação granulométrica, isto é, para esta propriedade é indiferente o tipo de granulometria empregada;

4. Em geral a granulometria de partículas PI proporcionou os resultados mais satisfatórios;
5. O aditivo químico CaCl_2 incorporado num percentual de 4%, proporcionou as melhores médias em todas as propriedades físicas e mecânicas, enquanto o Na_2SiO_3 provocou os resultados mais insatisfatórios, tendo este aditivo sua aplicação não recomendada;
6. Os resultados das propriedades físicas e mecânicas revelaram que a espécie *Eucalyptus urophylla*, é a espécie, dentre as estudadas, que apresentou o melhor desempenho, sendo responsável pelas melhores médias de MOE, MOR, compressão paralela, absorção de água (2 h) e inchamento em espessura (2 e 24 h);
7. A espécie que apresentou os resultados mais indesejáveis foi *Eucalyptus citriodora*, em função, supostamente, da sua maior massa específica;
8. As análises quantitativas dos extrativos da madeira não revelaram a razão da influência diferenciada que cada espécie proporcionou nos resultados;
9. Os resultados apresentados pela espécie *Eucalyptus urophylla* nas propriedades MOE, ligação interna, absorção de água e inchamento em espessura, são excelentes e equiparáveis a resultados encontrados na literatura.

**CONCLUSÕES COM BASE NOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DO EFEITO DA CURA À
VAPOR SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS**

1. O uso de um cimento de alta resistência inicial (ARI) nos painéis de cimento-madeira, curadas em câmaras climáticas, não produziu resistências de propriedades mecânicas dos painéis nos tempos de cura de 7 e 14 dias, equiparáveis à resistência aos 28 dias.
2. A cura a vapor proporcionou um efeito benéfico nas propriedade MOE e compressão paralela. A cura provocou nessas duas propriedades, a aquisição de resistência no 7^o e 14^o, respectivamente, equiparável à resistência obtida no 28^o dia de maturação dos painéis;
3. A cura a vapor, nas propriedades de MOR e ligação interna, não provocou elevação da resistência e nem proporcionou uma redução no tempo de maturação.

CONCLUSÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos em ambas as fases de coleta de dados, pode-se concluir que, para todas as variáveis estudadas nesta pesquisa, ou seja, granulometria de partículas, aditivos, percentual de aditivos e espécies, a tendência observada entre os resultados obtidos na primeira fase praticamente se repetiram na fase final.

Em se tratando de tendências, pode-se afirmar que os ensaios realizados na primeira fase são indicadores de seleção de matéria-prima a ser empregada na

manufatura dos painéis. Porém, isso não implica que as propriedades físicas e mecânicas geradas, terão aceitação comercial, isto porque, outras variáveis estão interagindo e provocando interferência nos resultados.

Para as condições aplicadas neste estudo, ou seja, relação madeira:cimento (1:2,75), relação água:cimento (1:2,32), massa específica gerada nos painéis ($\cong 1,1 \text{ g/cm}^3$), pressão de prensagem (40 kg/cm^2) e condições de cura, provavelmente os resultados encontrados para as espécies pesquisadas, dentro dos parâmetros (cimento, granulometria, aditivo, % de aditivo) definidos como ideais, podem ter sido os melhores ou ideais.

Salvo exceção da espécie *Eucalyptus citriodora*, todas as outras três apresentam boas possibilidades ao uso em chapas de cimento-madeira, especialmente a espécie *Eucalyptus urophylla*.

RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa gerou muitas informações que ajudaram a elucidar dúvidas e eliminar, em parte, alguns problemas inerentes a produção de chapas de cimento-madeira. Essa experiência ampliou a visão e o conhecimento sobre o assunto, mas ao mesmo tempo, fez com que algumas incertezas surgissem ou perdurassem.

Dentre os assuntos que devem merecer uma atenção especial em futuras pesquisas, pode-se destacar os seguintes:

1. Ao se pesquisar a potencialidade de alguma espécie para compor chapas de cimento-madeira, uma avaliação profunda da sua composição química, deve merecer uma atenção especial. Conhecer profundamente quais as substâncias e o quanto elas estão presentes, é ponto de partida fundamental para entender a interação que essa madeira terá ao entrar em contato com o cimento. Partindo deste princípio, é possível programar tratamentos ou adições de substâncias, de modo que a interação cimento-madeira seja a melhor possível;
2. Dispensar maior atenção, nas pesquisas, com espécies que tenham massa específica relativamente baixa. A taxa de compactação pode ser um fator limitante para que propriedades satisfatórias sejam atingidas.
3. A água tem um papel fundamental não só para obtenção de resistências mais elevadas, mas também, no processo de mistura dos componentes. Portanto, a investigação da relação água:cimento se torna muito importante. Assim, deve-se pesquisar os limites dessa relação, se possível, especificá-la para cada espécie e granulometria empregada.
4. Pôde-se perceber que a cura a vapor das chapas interferiram nos resultados obtidos. Assim, novas investigações sobre tipos de cura a serem aplicados no condicionamento das chapas, requerem importância relevante.

ANEXOS

<i>ANEXO 1 - ANOVA DO ESTUDO DE TERMOMETRIA E COMPRESSÃO AXIAL</i>	<i>140</i>
<i>ANEXO 1.1 - ANOVA DO ESTUDO DO TIPO DE CIMENTO</i>	<i>141</i>
<i>ANEXO 1.2 - ANOVA DO ESTUDO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS</i>	<i>143</i>
<i>ANEXO 1.3 - ANOVA DO ESTUDO DE ADITIVOS QUÍMICOS</i>	<i>150</i>
<i>ANEXO 1.4 - ANOVA DO ESTUDO DA VARIAÇÃO PERCENTUAL DO $CaCl_2$</i>	<i>155</i>
<i>ANEXO 1.5 - ANOVA DO ESTUDO DA ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA</i>	<i>160</i>
<i>ANEXO 1.6 - ANOVA DO ESTUDO DA ESPÉCIE</i>	<i>165</i>
<i>ANEXO 2 - ANOVA DO ESTUDO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS</i>	<i>169</i>
<i>ANEXO 2.1 - ANOVA DO ESTUDO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS</i>	<i>170</i>
<i>ANEXO 2.2 - ANOVA DO ESTUDO DE ADITIVOS</i>	<i>174</i>
<i>ANEXO 2.3 - ANOVA DO ESTUDO DA ESPÉCIE</i>	<i>178</i>
<i>ANEXO 2.4 - ANOVA DO ESTUDO DA CURA DOS PAINÉIS</i>	<i>182</i>

ANEXO 1 - ANOVA DO ESTUDO DE TERMOMETRIA E COMPRESSÃO AXIAL

ANEXO 1.1 - ANOVA DO ESTUDO DO TIPO DE CIMENTO

ANEXO 1.1.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR TIPO DE CIMENTO

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Tipo de cimento	4786,3935	3	1595,4645	399*	0,0000
ERRO	47,978775	12	3,9982313		
TOTAL	4834,3723	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.1.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR TIPO DE CIMENTO

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Tipo de cimento	833384,35	3	277794,78	1234*	0,0000
ERRO	2700,2418	12	225,02015		
TOTAL	836084,59	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.1.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR TIPO DE CIMENTO

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Tipo de cimento	131623,16	3	43874,385	24,67*	0,0000
ERRO	21334,607	12	1777,8840		
TOTAL	152957,76	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2 - ANOVA DO ESTUDO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS

ANEXO 1.2.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	45,921520	4	11,480380	3,118*	0,0471
ERRO	55,229900	15	3,6819933		
TOTAL	101,15142	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	9829,3438	4	2457,3359	12,46*	0,0001
ERRO	2958,0336	15	197,20224		
TOTAL	12787,377	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ÍNDICE DE INIBIÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	54,990924	4	13,747731	9,32*	0,0005
ERRO	22,125542	15	1,4750362		
TOTAL	77,116467	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	28972,652	4	7243,1630	35,48*	0,0000
ERRO	3061,7335	15	204,11557		
TOTAL	32034,386	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	19,861930	4	4,9654825	1,34 ^{NS}	0,3001
ERRO	55,493125	15	3,6995417		
TOTAL	75,355055	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	2898,9132	4	724,72831	7,43*	0,001
ERRO	1461,4845	15	97,432297		
TOTAL	4360,3977	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ÍNDICE DE INIBIÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	13,796680	4	3,4491699	4,51*	0,0136
ERRO	11,459460	15	0,7639640		
TOTAL	25,256140	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	8045,1048	4	2011,2762	13,09*	0,0001
ERRO	2304,5147	15	153,63432		
TOTAL	10349,620	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	17,807470	4	4,4518675	1,05 ^{NS}	0,4131
ERRO	63,396450	15	4,2264300		
TOTAL	81,203920	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	4053,3801	4	1013,3450	14,24*	0,0001
ERRO	1067,0275	15	71,135163		
TOTAL	5120,4075	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ÍNDICE DE INIBIÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	17,534682	4	4,3836704	7,63*	0,0015.
ERRO	8,6095262	15	0,5739684		
TOTAL	26,144208	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.12 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIACÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	3122,1174	4	780,52936	5,68*	0.0055
ERRO	2059,4853	15	137,29902		
TOTAL	5181,6027	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.13 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	512,77988	4	128,19497	31,19*	0,0000
ERRO	61,640175	15	4,1093450		
TOTAL	574,42006	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	67037,443	4	16759,361	77,63*	0,0000
ERRO	3238,3187	15	215,88792		
TOTAL	70275,761	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ÍNDICE DE INIBIÇÃO DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	1331,9092	4	332,97731	100,7*	0,0000
ERRO	49,551038	15	3,3034025		
TOTAL	1381,4603	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.2.16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	2827,0456	4	706,76140	13,66*	0,0001
ERRO	776,06800	15	51,737867		
TOTAL	3603,1136	19			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3 - ANOVA DO ESTUDO DE ADITIVOS QUÍMICOS

ANEXO 1.3.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	78,789825	3	26,263275	14,97*	0,0002
ERRO	21,047550	12	1,7539625		
TOTAL	99,837375	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	112212,64	3	37404,213	165,2*	0,0000
ERRO	2716,8451	12	226,40376		
TOTAL	114929,48	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	12770,884	3	4256,9613	28,99*	0,0000
ERRO	1761,7159	12	146,80966		
TOTAL	14532,600	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	48,657075	3	16,219025	4,639*	0,0226
ERRO	42,043500	12	3,5036250		
TOTAL	90,700575	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	77224,515	3	25741,505	263,7*	0,0000
ERRO	1171,0435	12	97,586960		
TOTAL	78395,559	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	5617,9334	3	1872,6445	11,88*	0,0007
ERRO	1891,4064	12	157,61720		
TOTAL	7509,3398	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	29,775650	3	9,9252167	5,84*	0,0106
ERRO	20,372050	12	1,6976708		
TOTAL	50,147700	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	181999,37	3	60666,457	174,3*	0,0000
ERRO	4174,4606	12	347,87172		
TOTAL	186173,83	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	10295,351	3	3431,7838	4,48*	0,0249
ERRO	9192,4632	12	766,03860		
TOTAL	19487,815	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	11,413850	3	3,8046167	1,08 ^{NS}	0,3952
ERRO	42,347350	12	3,5289458		
TOTAL	53,761200	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	107399,91	3	35799,970	87,95*	0,0000
ERRO	4884,4298	12	407,03581		
TOTAL	112284,34	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.3.12 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ADITIVO PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivos químicos	11800,799	3	3933,5996	36,75*	0,0000
ERRO	1284,4548	12	107,03790		
TOTAL	13085,254	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4 - ANOVA DO ESTUDO DA VARIAÇÃO PERCENTUAL DO CaCl_2

ANEXO 1.4.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	11,174217	2	5,5871083	1,82 ^{NS}	0,2175
ERRO	27,685550	9	3,0761722		
TOTAL	38,859767	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	18495,725	2	9247,8627	60,2*	0,0000
ERRO	1383,4120	9	153,71244		
TOTAL	19879,137	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	1515,4768	2	757,73841	2,77 ^{NS}	0,1157
ERRO	2464,1197	9	273,79107		
TOTAL	3979,5965	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Varição % CaCl_2	27,308017	2	13,654008	7,49*	0,0121
ERRO	16,399450	9	1,8221611		
TOTAL	43,707467	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Varição % CaCl_2	24906,706	2	12453,353	101,2*	0,0000
ERRO	1107,4315	9	123,04794		
TOTAL	26014,138	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Varição % CaCl_2	25635,836	2	12817,918	101,9*	0,0000
ERRO	1131,9388	9	125,77097		
TOTAL	26767,775	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	10,451517	2	5,2257583	2,10 ^{NS}	0,1780
ERRO	22,359150	9	2,4843500		
TOTAL	32,810667	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	9852,1074	2	4926,0537	55,01*	0,0000
ERRO	805,86680	9	89,540756		
TOTAL	10657,974	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	7848,5237	2	3924,2619	5,86*	0,0234
ERRO	6024,9023	9	669,433358		
TOTAL	13873,426	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	13,465617	3	6,7328083	1,64 ^{NS}	0,2455
ERRO	36,767075	12	4,0852306		
TOTAL	50,232692	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	13062,606	2	6531,3028	44,78*	0,0000
ERRO	1312,4366	9	145,82629		
TOTAL	14375,042	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.4.12 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR VARIAÇÃO PERCENTUAL DO ADITIVO CaCl_2 PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Variação % CaCl_2	4138,1647	2	2069,0824	8,07*	0,0098
ERRO	2307,1941	9	256,35491		
TOTAL	6445,3589	11			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5 - ANOVA DO ESTUDO DA ADIÇÃO DE MICROSSÍLICA

ANEXO 1.5.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	322,40317	3	107,46772	21,02*	0,0000
ERRO	61,337925	12	5,1114937		
TOTAL	383,74109	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	366938,02	3	122312,67	1007*	0,0000
ERRO	1456,3441	12	121,36200		
TOTAL	368394,36	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS PELLITA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	103570,58	3	34523,527	159*	0,0000
ERRO	2605,2229	12	217,10191		
TOTAL	106175,80	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	195,59208	3	65,197358	32,01*	0,0000
ERRO	24,441100	12	2,0367583		
TOTAL	220,03318	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	222363,13	3	74121,042	444*	0,0000
ERRO	2002,0674	12	166,83895		
TOTAL	224365,19	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS ROBUSTA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	61648,837	3	20549,612	47,59*	0,0000
ERRO	5181,1358	12	431,76132		
TOTAL	66829,973	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	369,41627	3	123,13876	24,18*	0,0000
ERRO	61,087675	12	5,0906396		
TOTAL	430,50394	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	274822,70	3	91607,567	584*	0,0000
ERRO	1881,5930	12	156,79941		
TOTAL	276704,30	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	68003,428	3	22667,809	143*	0,0000
ERRO	1894,2155	12	157,85129		
TOTAL	69897,643	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	475,00927	3	158,33642	55,50*	0,0000
ERRO	34,234025	12	2,8528354		
TOTAL	509,24329	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	299058,56	3	99686,187	650*	0,0000
ERRO	1837,7266	12	153,14389		
TOTAL	300896,29	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.5.12 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ADITIVO MINERAL PARA ESPÉCIE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo mineral	81395,838	3	27131,946	109,3*	0,0000
ERRO	2979,7691	12	248,31409		
TOTAL	84375,607	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.6 - ANOVA DO ESTUDO DA ESPÉCIE

ANEXO 1.6.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ESPÉCIE SEM A ADIÇÃO DE ADITIVOS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	71,150219	3	23,716740	7,766*	0,0038
ERRO	36,647025	12	3,0539188		
TOTAL	107,79724	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.6.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ESPÉCIE SEM A ADIÇÃO DE ADITIVOS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	12667,208	3	4222,4027	45,15*	0,0000
ERRO	1122,1108	12	93,509229		
TOTAL	13789,319	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.6.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ÍNDICE DE INIBIÇÃO DO FATOR ESPÉCIE SEM A ADIÇÃO DE ADITIVOS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	65,809089	3	21,936363	32,98*	0,0000
ERRO	7,9794828	12	0,6649569		
TOTAL	73,788572	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.6.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ESPÉCIE SEM A ADIÇÃO DE ADITIVOS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	7484,6986	3	2494,8995	30,12*	0,0000
ERRO	993,94806	12	82,829005		
TOTAL	8478,6467	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.6.5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA MÁXIMA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ESPÉCIE COM A ADIÇÃO DE ADITIVOS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie+aditivos	31,765050	3	10,588350	3,05 ^{NS}	0,0697
ERRO	41,594150	12	3,4661792		
TOTAL	73,359200	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.6.6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL TEMPO REQUERIDO PARA A MÁXIMA TEMPERATURA DE HIDRATAÇÃO DO FATOR ESPÉCIE COM A ADIÇÃO DE ADITIVOS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie+aditivos	575,68285	3	191,89428	1,68 ^{NS}	0,2221
ERRO	1363,2202	12	113,60168		
TOTAL	1938,9030	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 1.6.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO AXIAL DO FATOR ESPÉCIE COM A ADIÇÃO DE ADITIVOS

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie+aditivos	4460,3160	3	1486,7720	4,170*	0,0307
ERRO	4278,7493	12	356,56244		
TOTAL	8739,0652	15			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2 - ANOVA DO ESTUDO DAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

ANEXO 2.1 - ANOVA DO ESTUDO DA GRANULOMETRIA DE PARTÍCULAS

ANEXO 2.1.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO GRANULOMETRIA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	2,4048E9	5	4,8096E8	9,67*	0,0000
ERRO	3,2808E9	66	49709618		
TOTAL	5,6857E9	71			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.1.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO GRANULOMETRIA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	8705,6211	5	1741,1242	11,85*	0,0000
ERRO	9698,8643	66	146,95249		
TOTAL	18404,485	71			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.1.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO EFEITO GRANULOMETRIA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	5799,3029	5	1159,8606	5,78*	0,0002
ERRO	13228,002	66	200,42427		
TOTAL	19027,305	71			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.1.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA DO EFEITO GRANULOMETRIA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	135,11441	5	27,022882	16,69*	0,0000
ERRO	165,12483	102	1,6188709		
TOTAL	300,23924	107			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.1.5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 2 h DO EFEITO GRANULOMETRIA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	2188,3568	5	437,67136	102,3*	0,0000
ERRO	128,39922	30	4,2799739		
TOTAL	2316,7560	35			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.1.6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 24 h DO EFEITO GRANULOMETRIA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	1879,7512	5	375,95024	85,83*	0,0000
ERRO	131,40993	30	4,3803310		
TOTAL	2011,1611	35			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.1.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 h DO EFEITO GRANULOMETRIA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	1,4391532	5	0,2878306	2,35 ^{NS}	0,0646
ERRO	3,6682501	30	0,1222750		
TOTAL	5,1074033	35			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.1.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 24 h DO EFEITO GRANULOMETRIA

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Granulometria	2,2554040	5	0,4510808	2,41 ^{NS}	0,0595
ERRO	5,6112271	30	0,1870409		
TOTAL	7,8666312	35			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2 - ANOVA DO ESTUDO DE ADITIVOS

ANEXO 2.2.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO ADITIVO

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo	2,2058E9	3	7,3525E8	18,03*	0,0000
ERRO	1,7940E9	44	40772877		
TOTAL	3,9998E9	47			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO ADITIVO

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo	6636,2273	3	2212,0758	21,17*	0,0000
ERRO	4596,9125	44	104,47528		
TOTAL	11233,140	47			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO EFEITO ADITIVO

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo	6880,6433	3	2293,5478	9,861*	0,0000
ERRO	10234,038	44	232,59177		
TOTAL	17114,681	47			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA DO EFEITO ADITIVO

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo	195,94340	3	65,314467	40,03*	0,0000
ERRO	110,94584	68	1,6315565		
TOTAL	306,88924	71			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2.5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 2 h DO EFEITO ADITIVO

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo	354,43600	3	118,14533	126,1*	0,0000
ERRO	18,743991	20	0,9371996		
TOTAL	373,17999	23			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2.6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 24 h DO EFEITO ADITIVO

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo	343,84952	3	114,61651	104,1*	0,0000
ERRO	22,024799	20	1,1012400		
TOTAL	365,87432	23			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 h DO EFEITO ADITIVO

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo	1,2674205	3	0,4224735	3,09 ^{NS}	0,0501
ERRO	2,7296596	20	0,1364830		
TOTAL	3,9970802	23			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.2.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 24 h DO EFEITO ADITIVO

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Aditivo	0,8130239	3	0,2710080	1,59 ^{NS}	0,2211
ERRO	3,3899003	20	0,1694950		
TOTAL	4,2029242	23			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3 - ANOVA DO ESTUDO DA ESPÉCIE

ANEXO 2.3.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO FATOR ESPÉCIE

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	1,5461E9	3	5,1535E8	19,82*	0,0000
ERRO	1,1437E9	44	25992386		
TOTAL	2,6897E9	47			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO FATOR ESPÉCIE

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	7065,8106	3	2355,2702	20,56*	0,0000
ERRO	5040,4025	44	114,55460		
TOTAL	12106,213	47			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO FATOR ESPÉCIE

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	6157,1760	3	2052,3920	7,077*	0,0006
ERRO	12761,048	44	290,02382		
TOTAL	18918,224	47			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA DO FATOR ESPÉCIE

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	54,647014	3	18,215671	7,40*	0,0002
ERRO	167,36531	68	2,4612545		
TOTAL	222,01232	71			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3.5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 2 h DO FATOR ESPÉCIE

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	115,45652	3	38,485506	58,81*	0,0000
ERRO	13,086761	20	0,6543381		
TOTAL	128,54328	23			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3.6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ABSORÇÃO DE ÁGUA 24 h DO FATOR ESPÉCIE

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Espécie	180,58163	3	60,193877	73,44*	0,0000
ERRO	16,390845	20	0,8195423		
TOTAL	196,97248	23			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 2 h DO FATOR ESPÉCIE

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO Espécie	0,8544008	3	0,2848003	2,87 ^{NS}	0,0616
ERRO	1,9788555	20	0,0989428		
TOTAL	2,8332563	23			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.3.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL INCHAMENTO EM ESPESSURA 24 h DO FATOR ESPÉCIE

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO Espécie	1,0932650	3	0,3644217	1,60 ^{NS}	0,2207
ERRO	4,5538220	20	0,2276911		
TOTAL	5,6470869	23			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.4 - ANOVA DO ESTUDO DA CURA DOS PAINÉIS

ANEXO 2.4.1 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOE DO EFEITO CURA DAS CHAPAS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Cura das chapas	2,4453E9	7	3,4933E8	8,68*	0,0000
ERRO	3,5401E9	88	40228749		
TOTAL	5,9855E9	95			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.4.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL MOR DO EFEITO CURA DAS CHAPAS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Cura das chapas	12937,036	7	1848,1480	24,32*	0,0000
ERRO	6687,4133	88	75,993333		
TOTAL	19624,45	95			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.4.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRESSÃO PARALELA DO EFEITO CURA DAS CHAPAS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Cura das chapas	6703,9917	7	957,71309	5,122*	0,0001
ERRO	16454,642	88	186,98457		
TOTAL	23158,634	95			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

ANEXO 2.4.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA DO EFEITO CURA DAS CHAPAS

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DE QUADRADOS	G.L.	QUADRADO MÉDIO	F	PROBABILIDADE
EFEITO					
Cura das chapas	279,55859	7	39,936942	31,55*	0,0000
ERRO	172,13362	136	1,2656884		
TOTAL	451,69221	143			

* = SIGNIFICATIVO AO NÍVEL DE 95% DE PROBABILIDADE; NS = Não significativo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHN, W. Y.; MOSLEMI, A. A. SEM Examination of Wood-Portland Cement Bonds. **Wood Science**. v. 13, n. 2, p. 77-82, 1980.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials**. In: Annual Book of ASTM Standard, ASTM D 1037-78B. Philadelphia, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. Boletim Técnico - 106. São Paulo. 1997. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Cimento Portland composto**. NBR 11578. 1990. 5 p.
- _____. **Cimento Portland de alta resistência inicial**. NBR 5733. 1990. 5 p.
- _____. **Cimento Portland de alto-forno**. NBR 5735. 1990. 5 p.
- _____. **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. NBR 7215. 1996. 8 p.
- BATTAGIN, A. F.; ESPER, M. W. **Contribuição ao Conhecimento das Propriedades do Cimento Portland de Alto-Forno**. Associação Brasileira de Cimento Portland. Estudo Técnico nº 90. São Paulo. 1988. 111 p.
- BIBLIS, E. J. & LO, C. F. Sugars and other wood extratives: effect on the setting of Southern pine-cement mixtures. **Forest Products Journal**. v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.
- BIRAULT, A. C. **Plant experience with wood-cement particleboard in France**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session III: Industrial manufacturing Processes. USA. VOL. I, 1989. p. 80-82.
- BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison - Report**. 1978. 10 p.
- BROWNING, B. L. **Methods of wood chemistry**. Interscience Publishers. New york. 1967. V. I. 384 p.
- BRUNAUER, S.; COPELAND, L. E. The chemical reactions that occur when water is added to portland cement in the mixing of concrete continue for months. **The Chemistry of Concrete**. [S.I.], p. 81-90, s.d.
- CAMARGO CORREA METAIS S/A. **Silica Fume: SILMIX**. Catálogo. 2000.

- CASTRO, V. G. DE. **Desenvolvimento de um painel cimento-madeira de *Pinus taeda* L. de média massa específica e partículas orientadas**. Brasília. 2000. Monografia de Graduação. Universidade de Brasília. 33 p.
- CHAPOLA, G. B. J. Effect of curing heat, alkali and cement set in cement particleboard on the visco-elastic properties of chip mattresses. **Wood Science and Technology**. v. 23, p. 131-138, 1989.
- CHITTENDEN, A. E. ; HAWKES A. J. ; HAMILTON, H. R. **Wood cement Systems**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. New Delhi, 1975, 20p.
- DAVIS, T. C. Effect of blue stain on setting of excelsior-cement mixtures. **Forest Products Journal**. [S.I.], v. 16, n. 6, p. 49-50, jun. 1966.
- DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R. **Influence of bark on properties of wood-cement particleboards made from eucalypt**. In: Proceedings of the International Conference on Wood and Wood Fiber Composites (S. Aicher Ed.). Stuttgart. P. 423-428, 2000.
- DINWOODIE, J. M. Wood-cement particleboard. **Building Research Establishment**. Abstract, 1978.
- DIX, R. J. H. **the principles of cement-bonded particleboard manufacturing**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session III: Industrial manufacturing Processes. USA. VOL. I, 1989. p. 61-62.
- ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. Piracicaba, 2000. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz da Universidade de São Paulo. 12 p.
- FAN, M.; BONFIELD, P.; DINWOODIE, J.; BREESE, M. **Dimensional instability of cement particleboard**. In: Proceedings of the International Conference on Wood and Wood Fiber Composites (S. Aicher Ed.). Stuttgart. P. 363-374, 2000.
- FENGEL, W. A. & WEGENER, G. **WOOD: Chemistry, Ultrastructure, Reaction**. Walter de Gruyter. New York. 1984.
- FRICH, E. **The Bison system for production of wood cement particleboards**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session III: Industrial Manufacturing Processes. USA. VOL. I, 1989. p. 63-67
- GNANAHARAN, R.; DHAMODARAN, T. K. Suitability of Some Tropical Hardwoods for Cement-Bonded Wood-Wool Board Manufacture. **Holzforschung**. v. 39, p. 337-340, 1985.
- HACHMI, M.; MOSLEMI, A. A. Correlation between wood-cement compatibility wood extractives. **Forest Products Journal**. v. 39, n. 6, p. 55-58, 1989.

- HACHMI, M.; CAMPBELL, A. G. **Wood-cement chemical relationships**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session II: Raw Material Considerations. USA. VOL. I, 1989. p. 43-47
- HACHMI, M.; MOSLEMI, A. A.; CAMPBELL, A. G. A new technique to classify the compatibility of wood with cement. **Wood Science and Technology**. v. 24, p. 345-354, 1990.
- HACHMI, M.; MOSLEMI, A. A. Effect of wood pH and buffering capacity on wood-cement compatibility. **Holzforschung**. V. 44, n. 6, p. 425-430, 1990.
- HAWKES, A. J. & ROBINSON, A. P. **The Suitability of *Eucalyptus grandis* and two provenances of *Pinus kesiya* for wood wool/cement slab manufacture**. Report- Tropical Products Institute - UK. N. L49. Abstract. 1978.
- HOFSTRAND, A. D.; MOSLEMI, A. A. ; GARCIA, J. F. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement. **Forest Products Journal**. v. 34, n. 2, p. 57-61, 1984.
- HUFFAKER, E. M. Use of Mill Residues in Wood-Fiber Concrete. **Forest Products Journal**. v. 12, n. 7, p. 298-301, 1962.
- IWAKIRI, S. **Produção de painéis de madeira-cimento de *Pinus elliottii* Engelm.** Relatório de pesquisa CNPq. Curitiba, 1996, 26 p.
- JAIN, V. K.; SHUKLA, K. S.; KUMAR, S.; SATISH, K. Heat of hidration studies on cellulosic material and cement systems. **Journal of the Timber Development Association of India**. V. 35, n. 2, Abstract, 1989.
- KATTAR, J. E.; ALMEIDA, N. A. **Cimento Portland**. Holdercim. Santo André. 1997. 43 p.
- KATTAR, J. E.; ABREU, J. V. **Produção de peças premoldadas de concreto**. Holdercim. Santo André. 1999. 50 p.
- LANGE, H.; SIMATUPANG, M. H.; NEUNAUER, A. **Influence of latent hydraulic binders on the properties of wood-cement composite**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session II: Raw material considerations. USA. VOL. I, 1989. p. 48-52.
- LATORRACA, J. V. F. Estudo da viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis de madeira-cimento. Curitiba, 1996. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. 94 p.
- LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S.; LELIS, R. C. C. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**.v. 6, n 1, p. 76-82, 1999.

- LEE, A. W. C. Physical and mechanical properties of cement bonded southern pine excelsior board. **Forest Products Journal**. v. 34, n. 4, p. 30-34, 1984.
- LEE, A. W. C.; HONG, Z. Compressive strength of cylindrical samples as an indicator of wood-cement compatibility. **Forest Products Journal**. v. 36, n. 11/12, p. 87-90, 1986.
- LEE, A. W. C.; SHORT, P. H. Pretreating hardwood for cement-bonded excelsior board. **Forest Products Journal**. v. 39, n. 10, p. 68-70, 1989.
- LIMA, T. G. **Variação nos sentidos radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorus* F. MUELL e *Eucalyptus pilulares* SM.** Viçosa, 1996. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa
- LOBO, A. M. **Biossíntese de Produtos Naturais. Metabolismo Secundário.** Universidade Nova de Lisboa. Área das Ciências Exatas e Tecnológicas. Lisboa, 1976. 201 p.
- MANZANARES, K.; VELAZQUEZ, D.; VALDES, J. L.; MARTINEZ, O.; MORALES, Y. F. Aptitud del material de raleo de tres especies forestales para formar aglomerados com cemento. **Revista Baracoa**. v. 21, n. 1, p. 59-73, 1991.
- MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice.** New York: Van-Nostrand Reinhold., 1992.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materias.** Ed. Pini. São Paulo. 1994. 309 p.
- MILLER, D. P.; MOSLEMI, A. A. Wood-Cement Composites: Effect of Model Compounds on Hydratation Characteristics and Tensile Strength. **Wood and Fiber Science**. V. 23, n.4, p. 472-482, 1991-a.
- _____. Wood-Cement Composites: Species and heartwood-sapwood effects on hydration and tensile strength. **Forest Products Journal**. v. 41, n. 3, p. 9-14, 1991-b.
- MOSLEMI, A. A. ; GARCIA, J. F. ; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood-portland cement-water systems. **Wood and Fiber Science**. v. 15, n. 2, p. 164 -176, 1983.
- MOSLEMI, A. A. **Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites.** IN: I Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia. I Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização de Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte. 1998. p. 144-156.

- _____. **Wood-cement panel products: coming of age.** In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session I: State of the art in mineral-bonded boards. USA. VOL. I, 1989. p. 12-18.
- MOSLEMI, A. A.; LIM, Y. T. Compatibility of southern hardwoods with portland cement. **Forest Products Journal**. v. 34, n. 7/8, p. 22-26. 1984.
- MOSLEMI, A. A.; PFISTER, Stephen C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. **Wood and Fiber Science**, v. 19, n. 2, p. 165-175, abr. 1987.
- MUSOKOTWANE, India. E. O. **Particle moisture content effects on the physical and mechanical properties of magnesite cement-bonded particleboard.** Vancouver, 1982. Tese (Master of Science) - The University of British Columbia.
- NÃÃS, I. de A. **Argamassa, Concreto e Materiais Cerâmicos.** IN: Construções Rurais - Materiais. Rio de Janeiro. LTC - Livros Técnicos e Científicos Ed. 1991. p. 63-103.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Ed. Pini, 1ª Edição, São Paulo, 1982.
- _____. **Propriedades do Concreto.** Ed. Pini, 2ª Edição, São Paulo, 1997.
- NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength.** DIN 52362, 1982, p. 39-40.
- OYAGADE, A. O. Compatibility of some tropical hardwood species with Portland cement. **Journal of Tropical Forest Science**. V. 6, n. 4, p. 387-396, 1994.
- PONCE, R. H. **Madeira Serrada de Eucalipto: Desafios e Perspectivas.** In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo, 1995, p. 50-58.
- RAHIM, S. & ONG, C. L. The effect of mineralising fluids on the compatibility of selected timber with Portland cement. **Malaysian-Forester**. V. 42, n. 2, Abstract, 1983.
- RASHWAN, M. S.; HATZINICOLAS, M.; ZMAVC, R. Development of a lightweight, low-cost concrete block using wood residue. **Forest Products Journal**. v. 42, n. 5, p. 57-64, 1992.
- ROSCCELLI, V. A. **Markets for cement-bonded particleboard in the United States.** In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session IV: Product properties, applications, & markets. USA. Vol. I, 1989. p. 138-140.

- SCHWARZ, H. G. **Cement-bonded boards in Malaysia**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session III: Industrial Manufacturing Processes. USA. Vol. I, 1989. p. 91-93
- SHUKLA, V. K.; JAIN, V. K.; PANT, R. C. Suitability of Lignocellulosic Materials for the Manufacturing of Cement Bonded Wood-Wool Boards. **Timb. Dev. Assoc.** v. 30, n. 3, p. 16-23, jul. 1984.
- SIMATUPANG, M. H.; LANG, H.; KASIM, A.; SEDDIG, N. **Influence of wood species on the setting of cement and gypsum**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session II: Raw Material Considerations. USA. VOL. I, 1989. p. 33-42
- SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ G. H.; BRÖKER F. W. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: EIGHTH WORLD FORESTRY CONGRESS. (1978: Jakarta). **Special paper**. Indonésia, 1978. 21 p.
- SIMATUPANG, M. H.; SEDDIG, N.; HABIGHORST, C.; GEIMER, R. **Technologies for rapid production of mineral-bonded wood composite boards**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session I: New Developments in Mineral-Bonded Wood and Fiber Composites. USA. 1991. p. 18-27.
- SINGH, N. B. Influence of calcium gluconate with calcium chloride or glucose on the hydration of cements. **Cement and Concrete Research**. United States, 1975. v. 5, n. 6, p. 545-550.
- SOLÓRZANO, A. G. R. **Experience of manufacturing wood-cement particleboard in Mexico**. In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Session III: Industrial manufacturing Processes. USA. Vol. I, 1989. p. 84-87.
- SORFA, P. ; BONGERS, J. **Wood-cement composite building units - Part I**. National Timber Research Institute. CSIR Special Report HOUT 270. Pretória, 1982, 24 p.
- _____. **Wood-cement composite building units - Part II: Optimized products and manufacturing process**. National Timber Research Institute. CSIR Special Report HOUT/304, Pretória, 1983. 28 p.
- SOUZA, M. R. **Effect of carbon dioxide gas in manufacturing cement-bonded particleboard**. Idaho, 1992. Dissertação (Master of Science) - University of Idaho. 121 p.
- _____. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection**. Idaho, 1994. Tese (Doctor of Philosophy). University of Idaho. 123 p.
- TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland**. Ed. Pini : Ibracon, São Paulo, 1990.

- TEIXEIRA, Divino. E. & GUIMARÃES, Tânia L. **Tratamento de partículas de *Acacia mearnsii* De Wild. para produção de chapas de cimento-madeira.** Brasília: IBAMA - DIRPED - LPF. Série Técnica 11, 1989.
- VALENZUELA, W. & CRUZ, T. Aptitud de la madera de cinco especies forestales para fabricar tableros de fibrocemento. **Revista Forestal del Perú.** V. 11, p. 3-16. 1983.
- VALENZUELA, W. **Contribution a la determination de l'aptitud d'essences forestieres pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment.** Gembloux (Belgique), Faculté des Sciences Agronomiques. 1989. 134 p.
- WATAI, L. T. Painéis estruturais. Tendências e desenvolvimento no Brasil. **Revista da Madeira.** Ano 5. Número 28. p. 32-34.
- WEATHERWAX, R. C. & TARKOW, H. Effect of wood on setting of Portland cement. **Forest Products Journal.** v. 14, n. 12, p. 567-570, 1964.
- YASIN, S. M.; QURESHI, T. A. Quantity of water solubles in some hardwood species (a basis for their relative suitability in wood cement board). **Pakistan Journal of Forestry.** V. 39, n. 2, Abstract, 1989.
- ZHENG TIAN, L.; MOSLEMI, A. A. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood-cement-water mixtures. **Forest Products Journal.** v. 35, n. 7, p. 37-43, 1985.
- _____. Effect of Western Larch Extractives on cement setting. **Forest Products Journal.** v. 36, n. 1, p. 53-54, 1986.
- ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz.** Campinas, 1999. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. 118 p.